

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



**OBOHACOVÁNÍ PALIVOVÉ SMĚSI VODÍKEM U
ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ**

**FUEL ENRICHMENT MIXES USING HYDRIGEN IN
SPARK IGNITION ENGINES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pavel Nosek

2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

Obor: B2341 Strojírenství
Zaměření: 2302R022 Stroje a zařízení
Dopravní stroje a zařízení

**OBOHACOVÁNÍ PALIVOVÉ SMĚSI VODÍKEM U
ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ**

**FUEL ENRICHMENT MIXES USING HYDRIGEN IN SPARK
IGNITION ENGINES**

Bakalářská práce

KVM-BP-228

Pavel Nosek

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Scholz Celestýn, Ph.D
Konzultant diplomové práce: Ing. Starý Petr

Počet stran: 45
Počet obrázků: 9
Počet příloh: 0
Počet výkresů: 4

Místo pro vložení originálu zadání BP

Obohacování palivové směsi vodíkem u zážehových motorů

Anotace

Práce se zabývá přehledem a zhodnocením stavu současného vývoje v oblasti obohacování palivové směsi vodíkem. Dále pak řeší umístění a technickou dokumentaci pro přívod vodíku do sacího traktu. Cílem práce je vyhodnocení výsledků měřených parametrů a emisí, a dále graficky znázorňuje trendy změn měřených veličin v závislosti na přidávaném množství vodíku do palivové směsi.

Klíčová slova:

Obohacování palivové směsi
Vodík
Přívod vodíku do sání

Fuel Enrichment Mixes using hydrogen in spark ignition engines

Annotation:

The thesis deals with the review of and evaluation of the status of current developments in the field of fuel enrichment mixing hydrogen. Furthermore, it provides location and technical documentation for the supply of hydrogen to the intake tract. The goal is to evaluate the results of the measured parameters and emissions, and to graphically illustrate the trends of changes in measured quantities, depending on the amount of hydrogen added to the fuel mixture.

Key words:

Fuel Enrichment mix
Hydrogen
Supply hydrogen to the intake tract

Desetinné třídění:

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Prof. Ing. Celestýnovi Scholzovi Ph.D. konzultantovi panu Ing. Petru Starému za ochotu a výbornou spolupráci, pozornost a za poskytnutí cenných informací.

Další poděkování patří všem učitelům na TUL a SPŠSE Liberec, za znalosti, které jsem díky nim získal a mohl je tak použít při tvorbě této práce.

Seznam použitých symbolů a jednotek

CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
NO _x	souhrnné označení pro oxidy dusíku
HC	nespálené uhlovodíky
H ₂ O	molekula vody
O ₂	molekula kyslíku
H ₂	molekula vodíku
p _b	barometrický tlak
T _{CHN}	teplota vody v chladicí nádrži chladiče
λ _z	součinitel přebytku vzduchu za katalyzátorem
P _V	tlak ve výfuku
T _K	teplota v jádru katalyzátoru
λ _p	součinitel přebytku vzduchu před katalyzátorem
T _V	teplota ve sběrném potrubí výfuku
T _M	teplota chladicí vody v motoru
n _{KH}	otáčky klikového hřídele
P KH	poloha klikového hřídele
p _o	tlak motorového oleje
T _o	teplota motorového oleje
p _K	tlak za škrťací klapkou
P KL	poloha škrťací klapky
T _S	teplota vzduchu v sacím potrubí
MV	množství nasávaného vzduchu
p _{LAB}	barometrický tlak v laboratoři
T _{LAB}	teplota v laboratoři
φ	relativní vlhkost v laboratoři
KP	množství vodíku vstříknuté do sání
m _B	hmotnost benzínu v nádrži, měřeno
p _s	tlak na sání
p _H	tlak vodíku vstupující do sání
λ	součinitel přebytku vzduchu
KVM	Katedra vozidel a motorů
FS	Fakulta strojní
TUL	Technická univerzita v Libreci

OBOHACOVÁNÍ PALIVOVÉ SMĚSI VODÍKEM U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

OBSAH:

1) ÚVOD.....	9
2) REŠERŠE.....	10
2.1 Vodík.....	10
2.2 Dvoupalivové spalování.....	12
2.3 Obohacování zemního plynu vodíkem.....	13
2.4 HHO vyvíječ.....	16
2.5 Vývojové trendy vyvíječů.....	18
2.6 Příklad HHO sady.....	20
3) PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	22
3.1. Stanoviště.....	22
3.2. Technická dokumentace.....	23
3.3. Schéma měřicího stanoviště	24
4) VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	26
4.1. Graficky znázorněné trendy změn měřených veličin.....	27
4.2. Zprůměrované hodnoty měřených veličin.....	32
4.3. Graficky znázorněný trend změn v závislosti na typu cyklu.....	35
4.4. Procentuální změny.....	36
4.5. Změna spotřeby paliva.....	39
4.5.1. Průměrové hodnoty.....	40
4.5.2. Procentuální změny.....	41
4.6. Hodnoty VAG z řídicí jednotky motoru.....	42
5) ZÁVĚR.....	44
Seznam použité literatury.....	45

1. ÚVOD:

V posledních letech nadále přibývá motorových dopravních prostředků ať v soukromém nebo podnikatelském sektoru. Je to dáno například tím, že si vozidlo může dovolit větší skupina lidí. Vlastnit vozidlo je i modním trendem. Následkem těchto skutečností se zvyšuje spotřeba fosilních paliv, což sebou přináší vyšší ekologickou zátěž. Nezabráňuje tomu ani zpřísnění emisních limitů pro výfukové plyny, které výrazně zhoršují kvalitu ovzduší. Většina vozidel je poháněna pístovými spalovacími motory na fosilní paliva (nafta, benzín). Zásoby ropy nezadržitelně klesají a podle předpokladů světových agentur začnou kolem roku 2050 docházet, nebo bude cena ropy tak vysoká, že si ji nikdo nebude moci dovolit používat jako palivo pro každodenní provoz motorového vozidla. Závislost celosvětové dopravy na fosilních palivech je nezodpovědná až nebezpečná. Je zde i problém politického rázu, protože ropa je stále na těžko dostupných místech naší planety, nebo v zemích s nestabilní politickou situací. Proto je dnes pro automobilový průmysl velmi důležité hledat náhradní zdroje energie. Zdroje by měli být lehce získatelné, to se projeví na výsledné ceně, měl by jich být dostatek, nejlépe tedy zdroje obnovitelné a v neposlední řadě technologie na jejich získání musí mít vysokou účinnost. Náklady na provoz dopravního prostředku se projevují na cenách služeb i výrobků, pro které byl dopravní prostředek použit. Ekonomické hledisko provozu dopravního prostředku má čím dál vyšší váhu pro rozhodování při koupi nového vozu. Dalším v poslední době řešeným hlediskem je ekologičnost provozu. A to hlavně výfukové emise jako oxid uhličitý CO_2 , nespálené uhlovodíky HC, oxid dusíku NO_x . Automobilový průmysl se snaží hledat cesty jak co nejvíce snížit spotřebu paliva u konvenčních vozů. Například systémy startstop, nebo snižováním odporu vozidla ať už speciálními pneumatikami s menším valivým odporem nebo úpravami karoserie pro lepší aerodynamiku. Investují i nemalé prostředky na vývoj hybridních vozů. V dnešní době je velmi diskutovaným zdrojem energie vodík, který je základním stavebním prvkem celého vesmíru. Podle současných měření se podílí ze 75 % na hmotě a dokonce z 90 % na počtu atomů přítomných ve vesmíru. Na zemi je ze sloučenin nejvíce zastoupena voda, která jako moře a oceány pokrývá 2/3 zemského povrchu. Bylo vypočteno, že se vodík podílí na složení zemské kůry (včetně atmosféry a hydrosféry) 0,88 hmotnostními procenty. Proto se o vodíku dá mluvit jako o nevyčerpatelném zdroji. Při jeho spalování vzniká jen vodní pára bez jakýchkoliv škodlivých emisí. Výhodou vodíku je jeho získání různými technologiemi, například termickým rozkladem zemního plynu, nebo elektrolýzou vody. K elektrolýze může být použita energie získaná obnovitelnými zdroji: vodní, větrná a solární elektrárna. Využívání vodíku má nadále neúplně dořešené problémy jako je jeho skladování a doprava. Nelze opomenout jeho výbušnost se směsí vzduchu 4 – 77% objemu vodíku ve vzduchu. Masivnímu rozvoji v automobilovém průmyslu dále zabraňuje nepřipravená infrastruktura. V Evropě je kolem 22 čerpacích stanic na čistý vodík, z toho jen jedna v České Republice. Proto je důležité hledat technologii na překlenutí dvou etap a to období spalování fosilních paliv a doby využívání vodíku jako zdroje energie buď z jeho spalování, nebo použitím v palivových článcích kde je energie chemická přeměněna na energii elektrickou, kterou je poháněn elektromotor ve voze. Jedním z možných řešení je použití vodíku k obohacení stávající směsi benzínu se vzduchem.

2. REŠERŠE:

2.1. Vodík:

Vodík je bezbarvý dvouatomový plyn bez chuti, zápachu, je hořlavý se vzduchem tvoří výbušnou směs. Má nejmenší hustotu ze všech plynů. Vyskytuje se převážně ve sloučeninách. Tvoří jich nejvíce ze všech chemických prvků. Volný se vyskytuje pouze v horních vrstvách atmosféry. Ve vodíku se skrývá více chemické energie než v kterémkoli jiném známém palivu. Tvoří kolem deseti procent hmotnosti lidského těla.

Značka prvku: H (hydrogenium)

Hustota: $0,08988 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$

Protonové číslo: 1

Skupina: I.A

Výhřevnost:

Ceněnou vlastností vodíku je výhřevnost, která se u plynů vyjadřuje:

- uvolněná energie z jednoho m³ (pro vodík $10,7 \text{ [Mj m}^{-3}\text{}]$).
- energie získaná z jednoho kilogramu (pro vodík $119 \text{ [Mj kg}^{-1}\text{}]$).

Pro srovnání výhřevnost benzínu ($44,5 \text{ [Mj kg}^{-1}\text{}]$).

Dějiny výzkumu:

1671: Boyle dokázal, že působením kyseliny sírové na železo uvolňuje hořlavý plyn.

1766: Cavendish zjistil některé vlastnosti vodíku (např. vodík je mnohem lehčí než vzduch).

1783: Lavoisier vymyslel název pro vodík **hydrogen** (z řeckého ydor geinomai – voda tvořící).

1800: Nicholson a Carlisle rozložili elektrolyticky vodu na vodík a kyslík. Po slučování (explozi) těchto prvků vznikla znovu voda.

1895: Vodík byl zkapalněn v množství, že ho bylo možné dokázat zakřivením kapky v kapiláře.

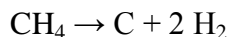
Výskyt:

Vodík je nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. Předpokládá se, že tvoří 90% atomů ve vesmíru. Z toho je patrná jeho důležitost a nevyčerpatelnost Na Zemi je třetím nejrozšířenějším prvkem po kyslíku a křemíku.

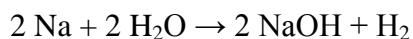
Výroba:

Vodík je vyráběn zplynováním uhlí. Touto metodou se vyrobí 90% produkce. Za další perspektivní metody se považují: elektrolýza vody, termické štěpení vody a zplyňování biomasy. Například v USA se ročně prodá na trhu okolo 3×10^9 [m³], tj. 250 000 tun vodíku.

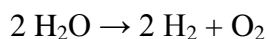
Vodík se vyrábí i termickým rozkladem methanu (zemního plynu) při 1000 °C.



Vodík vzniká také jako odpadní produkt při výrobě hydroxidů. Například sodík reaguje s vodou za vzniku hydroxidu sodného a vodíku.



Průmyslově se vodík vyrábí elektrolýzou vody.



Do budoucna se počítá s výrobou vodíku pomocí jaderné energie a to buď termochemicky (vysokými teplotami) nebo prostřednictvím elektrického proudu (jaderné elektrárny by tak mohly být využívány v době, kdy pro vyráběný proud není odběr).

Přeprava a skladování:

Nevýhodou zůstává výbušnost vodíku se vzduchem. Nastává riziko při netěsnostech nebo při dopravních nehodách. Vodík je možno dopravovat buď zkapalněný v kontejnerech, nebo v plynném stavu potrubím jako např. zemní plyn. V budoucnu je možnost používání tlakových nádob z kompozitních materiálů na bázi aramidových a uhlíkových vláken, nebo syntetických pryskyřic. Mají při podobném provedení jako kovové třetinovou hmotnost, jednodušší konstrukci a nižší cenu.

Spalování vodíku v pístových motorech:

Problémem při spalování vodíku v pístových spalovacích motorech je předčasné vznícení směsi paliva. Tento problém způsobuje vodík svou nízkou iniciační energií, širokým rozsahem hořlavosti a krátkou dobou uhasnutí plamene. K zapálení směsi nedochází v potřebném okamžiku ale dříve, což má za následek hrubý a neefektivní chod motoru. Může dojít k zpětnému zášlehu do přívodního kanálku palivového systému a tím poškození celého motoru. Nejčastější příčiny předčasného zapálení směsi mimo okamžik zapálení směsi od jiskry zapalovací svíčky jsou například od rozžhavené zapalovací svíčky nebo od výfukového ventilu. Dále také může dojít k předčasnému zapálení směsi a následném zášlehu, pokud dojde k časovému překrytí mezi otevřením sacích a výfukových ventilů.

[5]

2.2. Dvoupalivové spalování:

Letošní rok vznikla v Americe firma Ronn Motor Company, která se zabývá obohacováním palivové směsi vodíkem. A výrobou hybridního vozu spalující směs vzduchu, benzínu a vodíku. Bohužel se mi nepodařilo sehnat bližší technické informace o níže popsaném voze a systému H2GO™ data a popis je přeložen z internetových stránek výrobce. [6]

Automobil Scorpion:

Malá, nedávno založená americká automobilka Ronn Motor Company představila sportovní vůz pojmenovaný Scorpion. Jedná se o hybridní automobil, který spaluje benzín smíchaný se směsí vzduchu a vodíku (až 30% vodíku). Spotřeba by se měla pohybovat kolem 5,6 l/100km při max. rychlosti 320 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h během 3,5 sekund. Srdcem hybridu Scorpion bude 3,5 litrový zážehový šestiválcový motor. Karoserie bude z karbonových vláken značky Metal Crafters. Na pohonném systému spolupracoval Ronn Motor Company se společností Hydrorunner. Automobil se bude vyrábět v nové továrně, která má vyrůst v Texasu.



Obr. 1 Automobil Scorpion [6]



Obr. 2 Motor automobilu Scorpion [6]

Systém H2GO™:

H2GO™ je technologie na snížení emisí uhlovodíku HC a oxidu uhličitého CO₂ škodlivého pro životní prostředí. Přidávání vodíku v kombinaci se vstřikováním paliva a několika dalšími systémy nového H2GO™ spěje k zvýšení celkové účinnosti spalování pohonných hmot. Díky tomu je vytvářen větší výkon při lepší měrné spotřebě paliva spolu s výrazně nižšími emisemi pevných částic. Celý systém vyrábí směs plynného vodíku s benzínem na dosažení o 15% až 35% nižší měrné spotřeby paliva při současném snížení uhlovodíků ve výfuku o 75% až 90%. Celkové snížení emisí CO₂ o 15% až 35%. (viz výsledky zkušebního vozidla)

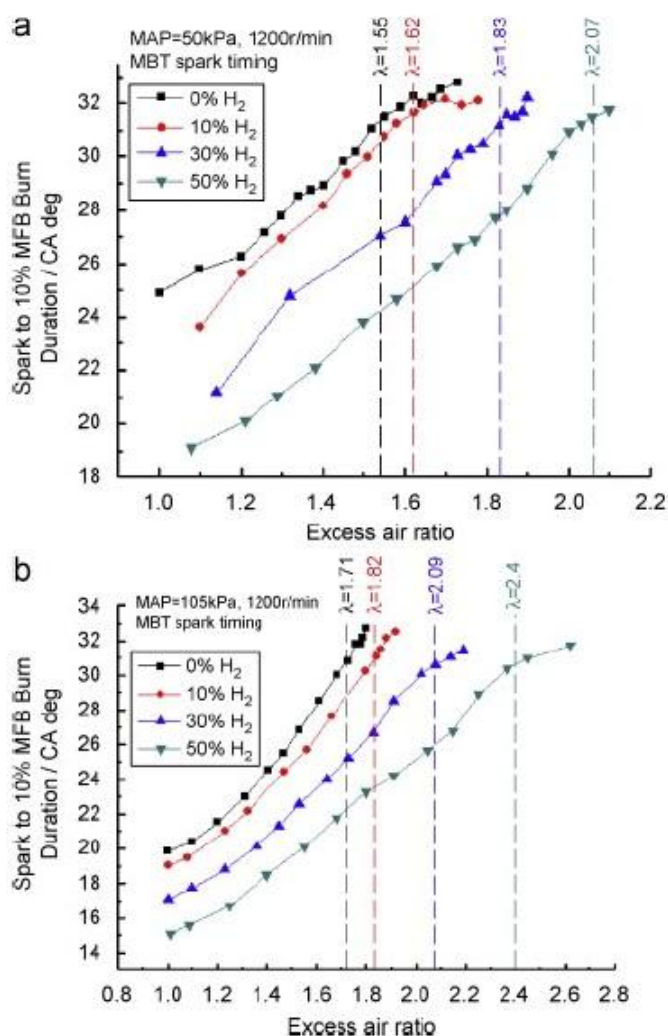
Ronn Motor Company využívá vlastní programovatelné počítačové řídicí jednotky (ECM) s vlastním mikročipem. Dokážou regulovat a kontrolovat tok vodíku vstupujícího do spalovací komory motoru. Jsou chráněny proti selhání v důsledku vibrací a ohně, můžou dokonce pracovat i pod vodou. H2GO™ systém je menší než standardní autobaterie a má objem menší než galon vody ze, které je vyráběn vodík v reálném čase pomocí elektrolýzy podle potřeby, náplň vystačí pro cca 5000 mil. Žádný vodík není uložen a skladován ve voze. Během rozsáhlého výzkumu a testování Ronn Motors naprogramoval řídicí jednotky pro optimální výkon a snížení výfukových emisí. V závislosti na počtu proměnných je snížení emisí uhlovodíků až o 90%. Vyšší spotřebu paliva lze snadno dosáhnout, ale pouze na úkor zlepšení jízdních vlastností vozidla. S programovatelným mikročipem, může H2GO™ být rychle a snadno naprogramován pro optimální provozní účinnost motoru na jakémkoliv typu spalovacího motoru automobilu, lodě i vrtulového letadla. Rozsáhlé využívání systému H2GO™ by snížilo spotřebu fosilních paliv na celém světě. Poskytuje úsporu pro podniky a jednotlivé spotřebitele, ale i sníží závislost na zahraniční ropě. [6]

2.3. Obohacování zemního plynu vodíkem:

Níže psaný text pojednává o problematice spalování obohaceného zemního plynu vodíkem a vlivu na vypouštěné škodlivé emise. Poznatky, které níže popisují byli převzaty z publikace [7] a práce vypracované na Vysoké škole Chemicko Technologické v Praze Petrem Jíšou [8].

Přídavek vodíku do zemního plynu může mít pozitivní vliv na iniciaci spalovacích reakcí. To je velmi potřebné, pokud má směs být využívána jako palivo pro pohon motorových vozidel. V současnosti jsou v sledovány emise hlavně uhlíkatých plynů CO, CO₂, dusíkatých plynů NO_x, a emise uhlovodíků HC. Navíc se emisní limity těchto plynů zpřísnují. V přímé návaznosti na tento fakt vznikají tendence ke spalování chudých směsí, neboť tím lze emise NO_x, CO a HC, snižovat. Chudé směsi se vyznačují tím, že se při spalovacích procesech využívá přebytek vzduchu. Chudá směs je směs, že koeficient přebytku vzduchu je $\lambda > 1$. Co se týče emisí NO_x, efekt na zvyšování jejich koncentrace ve spalínách vykazuje teplota hoření čím je vyšší, tím vyšší jsou emise dusíkatých plynů. Protože stoupající hodnotou koeficientu λ klesá spalovací teplota směsi, je jasné, že spalování chudých směsí napomáhá snížení emisí NO_x. Když jde o emise oxidu uhelnatého CO dá se říci, že spalování chudých směsí snižuje koncentrace tohoto plynu ve spalínách proto, že s přebytkem vzduchu dochází k efektivnějšímu spalování. Naproti tomu vzniká více CO₂. Proto je nutné hledat řešení pro snížení emisí CO₂. Efekt přebytku vzduchu na emise HC je takový, že v důsledku dokonalejšího spalování se jejich koncentrace ve spalínách snižují. Důležité je podotknout

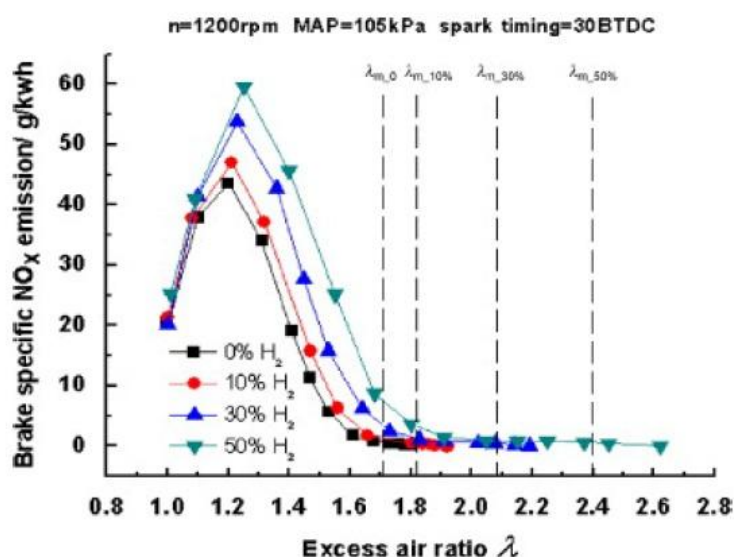
další vlastnosti chudých směsí. Jejich výhodou je zvýšení odolnosti motorů proti klepání. Za to nevýhodou je, že s nárůstem koeficientu λ roste energie potřebná k iniciaci spalovací reakce. Kdybychom chtěli v zážehovém motoru pracovat s koeficientem λ větším než jedna. Jeví se jako řešení problémů použití právě obohacování směsi vodíkem, protože má pozitivní efekt na iniciaci spalovacích reakcí. V důsledku obohacování směsi vodíkem zvyšujeme spalovací rychlost a snižujeme zápalnou teplotu spalované směsi. Výsledky měření zabývajícího se touto problematikou [7] shrnují obrázky 3a a 3b. Jde o grafy vytvořené vynesáním hodnot λ proti úhlu (CA deg), který opsala kliková hřídel zkušebního motoru od okamžiku zážehu do okamžiku, kdy bylo ve válci spáleno 98% objemu paliva. Měření probíhalo při konstantních otáčkách 1200 $[min.^{-1}]$ (aby byl výsledek udávaný jako úhel otočení klikové hřídele směrodatný) a zážeh byl proveden vždy v okamžiku, kdy se hřídel odchýlila o 30° od startovní polohy. Na obrázku 3a je zachyceno měření probíhající za tlaku vstřiku paliva 50 kPa, na obrázku 3b je zachyceno měření probíhající za tlaku 105 kPa, ostatní charakteristiky zůstávají nezměněny. Z grafů vyplývá, že čím větší byl podíl vodíku v palivu (zde udávaný jako objemová koncentrace vodíku v čistém vzorku paliva), tím rychleji došlo k vyhoření daného množství paliva při určeném přebytku vzduchu, a to v celém rozsahu naměřených hodnot. Další důležitý poznatek je, že s vyšším tlakem je možné použít také vyššího přebytku vzduchu pro docelení stejného efektu. [7] [8].



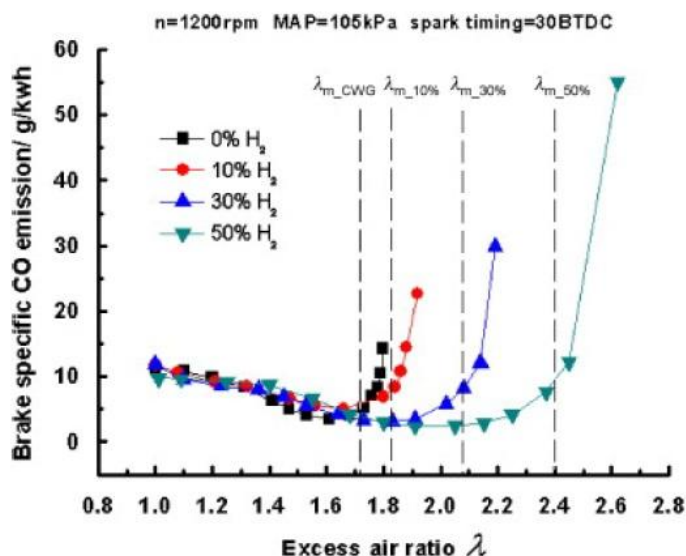
Graf 1 Vliv přidavku vodíku na dobu hoření při konstantních otáčkách motoru při tlaku vstřikování paliva 50 kPa (a) a 105 kPa (b) [7]

Vliv přidavku vodíku na tvorbu emisí NO_x, CO a HC:

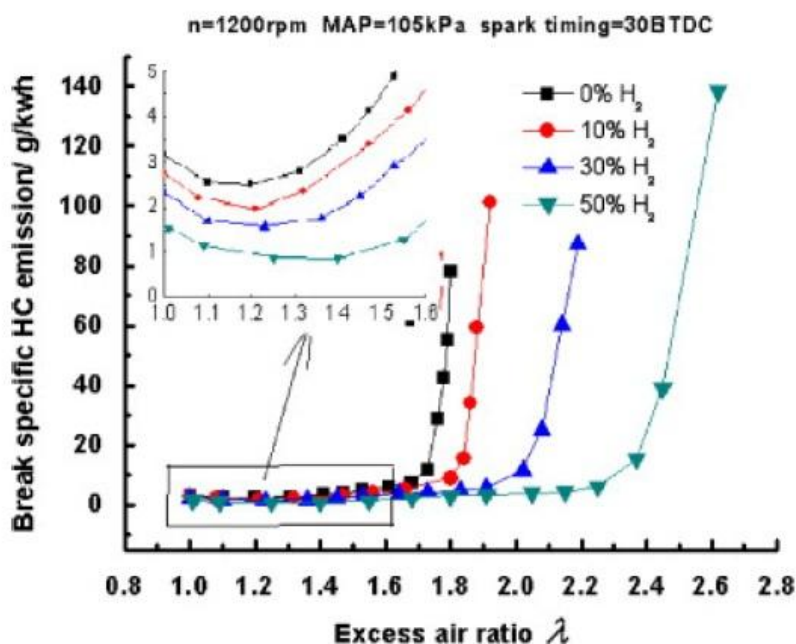
Jedná se o podmínky, za kterých byla měřena i charakteristika vlivu přidavku vodíku na rychlost spalování. Měření probíhalo za konstantních otáček motoru 1200 [min.⁻¹], konstantního tlaku vstřikování paliv 105 kPa a rovněž doba zážehu směsi byla stejná při měření emisí NO_x, CO i HC. Zážeh palivové směsi probíhal vždy v době, kdy poloha klikové hřídele dosáhla úhlu 30° vůči poloze horní úvrati pístu. Ve všech grafech na obrázcích 4,5,6 reprezentuje x-ová osa vždy koeficient přebytku vzduchu λ a y-ová osa vždy úhrnnou hmotnost emisí zkoumané látky, které by za daných podmínek vznikly, kdybychom chtěli získat 1 kWh energie. Symbol MAP znamená tlak vstřikování paliva do motoru (manifold absolute pressure), spark timing dobu zážehu udanou jako úhel, který zbývá klikové hřídeli do polohy odpovídající horní úvrati (BTDC – before top dead center). [7] [8].



Graf 2 Vliv přidavku vodíku na emisie NO_x [7]



Graf 3 Vliv přidavku vodíku na emisie CO [7]



Graf 4 Vliv přidavku vodíku na emise HC [7]

2.4. HHO vyvíječ:

V dnešní době je možné bez problému zakoupit HHO vyvíječ. Vývoj této technologie zažívá velký rozmach. Zapříčinila to velká poptávka po ekologičtějších a ekonomičtějších vozech. Konverzní sady se dají namontovat na jakýkoliv benzínový vůz. Do vozů se montují, za účelem snížení měrné spotřeby paliva, získání více energie, docílení kvalitnějšího spalování, zvýšení výkonu motoru a snížení emisí. Jejich vedlejším příznivým efektem bývá i zvýšení životnosti motoru. Zvýšení životnosti je důsledkem, že směs vodíku a kyslíku přidávaná do nasávaného vzduchu přispívá k rozpouštění karbonových usazenin v motoru. V současné době jsou vyvíječe v USA, značně rozšířené a existuje řada firem, které se touto problematikou zabývají. Některé dodávají hotové vyvíječe s příslušenstvím, další prodávají své „know how“ a za poplatek poskytují podrobný návod na výrobu, instalaci a provoz vyvíječů. Použitím tohoto vyvíječe nepředěláte auto zcela na vodní pohon, musíte pořád spalovat benzín.

Popis technologie:

Plyn se ve vyvíječi získává elektrolýzou vody. K tomu to ději se využívá energie z akumulátoru. Plyn je poté veden do sacího potrubí. Nezáleží jestli jde o motor kde je směs benzínu a vzduchu tvořena ve válci, nebo mimo něj. Plyn se používá jen jako doplněk ke stávajícímu benzínovému pohonu. Na rozdíl od klasických elektrolýz neprodukuje vyvíječe plyny odděleně, tedy vodík a kyslík. Produkují směs těchto plynů, která obsahuje (dva atomy vodíku + jeden atom kyslíku). Této směsi se říká Brownův plyn, nebo Hydroxy a označuje se značkou HHO. Na konci spalování plynu dostaneme vodní páru, která rychle kondenzuje zpět do vody. Z hlediska efektivity vyvíječe by bylo nelogické, kdybychom se vyvíjeného kyslíku vzdali. Jeho zvětšení koncentrace oproti koncentraci v nasávaném vzduchu zlepšuje

spalování, a přispívá ke zvýšení výkonu motoru. Také je třeba si uvědomit, že vyvíječe produkují směs vodíku a kyslíku a že směs je výbušná ve spojení se vzduchem musíme tedy dodržet limitní koncentraci. Při provozu je třeba dbát na veškeré bezpečnostní předpisy a doporučení, které zaručují bezpečnost provozu.

Efektivita vyvíječů:

Základní námitka zní, že vyvíječe vyrábí vodík a kyslík s použitím elektrického proudu generovaného alternátorem, který je poháněn klínovým řemenem od motoru. Motor je poháněn jeho spalováním, a tedy případná úspora by byla porušením zákona o zachování energie. Zde je třeba si uvědomit, že produkovaný Brownův plyn není spalován sám, ale že přispívá jen k efektivnějšímu spalování většího množství základního paliva. Vyskytuje se zde multiplikační (zesilovací) efekt. Tedy že energie spotřebovaná na vyvíjení malého množství Brownova plynu je bohatě vyvážená ziskem z efektivnějšího spalování základního paliva.

Snížení měrné spotřeby paliva je reálné. Základem je že motor má větší výkon, řidič proto méně šlape na plyn a při stejném stylu jízdy spotřebuje méně paliva. V případě moderních motorů, ať s nepřímým, nebo přímým vstřikováním paliva, je množství vstřikovaného paliva řízeno řídicí jednotkou motoru (ECU). Tato jednotka v principu využívá hlavně dvou údajů z měřících sond. Za prvé jsou to údaje z lambda sondy, která měří koncentraci kyslíku ve výfukových plynech, za druhé jde o údaje z váhy vzduchu a teploty vzduchu, které poskytují informaci o množství nasávaného vzduchu. Z hlediska efektivity systému hraje hlavní roli lambda sonda. Lambda sonda měří koncentraci kyslíku ve výfukových plynech. Tato koncentrace je přímo úměrná poměru množství nasávaného vzduchu a vstřikovaného paliva. Parametr lambda udává, zda je poměr ideální. Lambda pro zážehové motory má hodnotu „1“ pokud zmíněný poměr je $14,7 / 1$, tedy 14,7 jednotek vzduchu na jednu jednotku paliva (objemových). Tomuto poměru se říká stechiometrický. Při hodnotě lambda větší než jedna je směs chudá, při hodnotě menší než jedna je směs bohatá. Vraťme se nyní k vlivu lambda sondy na efektivitu vyvíječe. Vyvíječ přidává do spalované směsi vodík a kyslík. Obě složky přispívají k lepšímu spalování uhlovodíků obsažených v palivu a následně k vyšší koncentraci kyslíku ve spalínách. Řídicí jednotka motoru vyhodnotí informaci jako „chudá směs“ a zvýší množství vstřikovaného paliva. Tak může paradoxně dojít u některých vozidel i ke zvýšení spotřeby paliva. V této době je již velmi dobře propracován způsob jak této situaci předejít. Principiálně jde o úpravu signálu lambda sondy před tím, než se dostane do počítače, v základu o jeho napěťové navýšení. Pro přístroje a zapojení, kterými lze tohoto výsledku dosáhnout se v angličtině ujala zkratka EFIE (Electronic Fuel Injection Enhancer, v překladu (Elektronický vylepšovač vstřikování paliva). EFIE existuje několik typů, jednotlivé typy se liší hlavně náročností na výroby.

Shrneme-li pak podmínkou dosažení úspory paliva u motorů vybavených lambda sondou je zavedení dobře fungující EFIE jednotky. Stále však zůstává vysoký rozptyl procenta úspor dosahovaných u jednotlivých typů vozidel a motorů. Příčinou je znova řídicí jednotka vozidla, která má u některých typů zabudovaný tzv. adaptační algoritmus, jehož funkcí je zajistit dobrý chod motoru i při stárém zhoršené kvalitě lambda sondy. Při instalaci vyvíječe a EFIE jednotky se to projeví, že nejprve na určitou dobu podstatně snížíte spotřebu, ale po nějaké době se úspora ustálí na 5%, za to však výkon podstatně stoupne.

Ve skutečnosti motory průměrně využijí cca 20% energie z paliva. Přidáváním plynu do směsi paliva tuto účinnost zvýšíme. Kyslík a Vodík hoření podporuje. Výsledkem je nižší měrná spotřeba paliva (Benzinu, Nafty, Lpg), tišší a kultivovanější chod motoru, lehce zvýšený výkon a velmi výrazně nižší vypouštěné emise. Karbon a jiné usazeniny se z motoru odstraní a díky tomu, je hlavně na starších motorech, znát citelné zlepšení chodu. Dají se prodloužit výměny oleje. Díky efektivnějšímu spalování na sebe olej v motoru neváže usazeniny a tím vydrží mnohem déle jeho viskozita nezměněna. Zařízení si můžete kdykoliv namontovat na jiný vůz. HHO systém není zatím schválen pro provoz na pozemních komunikacích. Zařízení pro benzínové motory je vybaveno bezpečnostním ventilem proti zpětnému zápalu. Generátor produkuje plyn pouze v reálném čase a malém množství, nikde se nic neskládá a proto je zařízení bezpečné. Z jednoho litru vody je možné vyrobit až 1860 litrů HHO. [1] [2]

2.5. Vývojivé trendy vyvíječů:

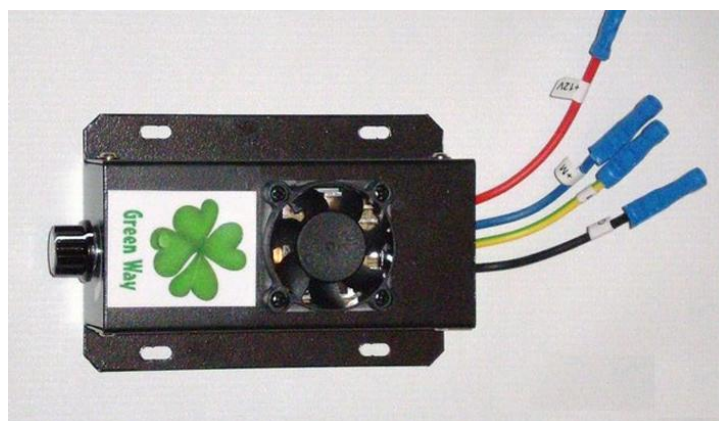
FRN :

Jedna z novinek ve výrobě HHO je FRN – Frekvenční regulátor napětí. Důležitý pro optimální provoz vodíkového vyvíječe. Princip FRN je, že napětí 12V převádí na sérii pulsů 150hz. Z FRN, proudí impulsní napětí do vyvíječe a tím šetří alternátor vozidla a pomáhá předejít přehřívání vody ve vyvíječi. Umožní tak perfektní kontrolu intenzity proudu jdoucí do vyvíječe, velmi jednoduchým otáčením kolečka potenciometru. S Frekvenčním regulátorem je systém mnohem snadnější na obsluhu a díky nižším teplotám se prodlouží životnost vyvíječe.

Hlavní Výhody FRN:

- Nastavení proudu, které vyvíječ potřebuje pro výrobu plynu je velice jednoduché, díky potenciometru na FRN, namísto hledání vhodné koncentrace elektrolytu.
- Celkově větší životnost vyvíječe.
- Frekvence, pomáhá udržet vodu v zařízení čistou – bez známek „korozivní barvy“, která může vzniknout bez použití FRN.
- Menší zatížení alternátoru vozidla.

[1]



Obr. 3 FRN měnič [1]

Ovladač Map/Maf:

Ovladač Map/Maf se používá k ovládání škrtící klapky, kterou lze nastavit bohatost směsi pro benzínové motory. Vzhledem ke zlepšení spalování benzínu, je potřebné menší množství paliva, proto je důležité snížit vstřikovanou dávku a tím dosáhnout snížení spotřeby. Zařízení se zapojuje na signální drát od senzoru škrtící klapky a jednoduchým otáčením potenciometru lze nastavit bohatost směsi. Příliš chudá směs – tarokující nebo slabý výkon motoru. Bohatá směs – vyšší otáčky motoru na volnoběh. Potenciometr se nastaví přesně mezi polohu těchto ukazů. Lze jednoduše nastavit citem. Přepínačem CITY HWY můžete volit mezi městským nebo dálničním provozem (nastavené hodnoty již pouze přepínáte). [1]



Obr. 4 Ovladač Map/Maf [1]

Ovladač lambda sondy EFIE:

Ovladač se zapojuje na signální drát od Lambda sondy a poté nastavením potenciometru se nastaví milivoly. V průměru je to cca 220mv, ale je nutné nastavit dle výsledné spotřeby. Zkušební jízdou a testováním od 150mv a postupným přidáváním 20mv do bodu, kdy se dosáhne úspory a další přidávání mv již úspory nezvyšuje. Toto zařízení se nastaví pouze jednou a již se neseřizuje. Jednou za měsíc se pouze vymění tužková baterie, která slouží k dodávání chybějících hodnot-mv. [1]



Obr. 5 Ovladač lambda sondy EFIE [1]

2.6. Příklad HHO sady:

Pro představu uvedu popis jedné sady prodávané v USA v ceně kolem 190 \$.

Níže uvedené informace a technická data jsou převzaty a přeloženy z internetových stránek výrobce Alternative MPG [2].

HHO Palivový systém je prodáván modulárně pro různé objemy motorů.

Systém Doporučení:

Pod objem motorem 4.5l = jeden modul s palivovými články

Motory od 4.5l do 7L = Duální systém s palivovými články

Motory nad 7L = Tři moduly s palivovými články

Moduly jsou řazeny paralelně, spolupracují na dosažení vyššího množství plynu za nižšího proudu a nižší teploty, s nižší koncentrací elektrolytu v roztoku. To se vyplácí ve větším množství pro větší motory a bezpečnějším provozu, (méně žíravé) efektivněji pracující systém. Když se koupí tento kyt nemusí se už nic dokupovat nebo jinak předělávat stačí ho jen namontovat. Systém je postaven na posledních vývojových trendech. Je v nejvyšší kvalitě a jedná se o nejobsáhlejší Vodíkovou palivovou soustavu jaká je dnes k dispozici. Firma je ve vývoji Vodíkových palivových systémů již více než 3 roky a má systém odzkoušen na více než 70.000 mil najetých testovacích jízdách. Jejich vodíkový systém pracuje v nejlepších možných teplotách a přináší nesmírně dlouhou životnost komponentů systému. Jiné vodíkové systémy se přehřívají po hodině či dvou jízdě. Přehřátí způsobuje voda odpařující se z elektrolytu. Může být škodlivé pokud vstoupí do motoru. Jejich systém zůstává chladný po celou dobu provozu.

Průměrná teplota obvyklého systému HHO po hodině běhu = 82,2 ° C

Průměrná teplota těchto systémů HHO kdykoliv po dobu běhu = 36,7 ° C

Palivové články:

Každý palivový modul se skládá z 9 laserem řezaných desky z nerezové oceli 316L, které jsou uzavřeny v prakticky nezničitelném HDPE obalu. I šrouby, matice a podložky jsou antikorozi. Moduly v testovacích vozech mají najeto více než 70.000 mil a stále vyrábí stanovené množství HHO a nemají žádné úniky kapek vody. Nový mobilní design nabízí větší odolnost vůči teplu, je trvanlivější a dá se použít do agresivního prostředí motorového prostoru. Provoz v zimě není problém s tímto obalem, nepraská, a to i v teplotách pod nulou minimálně, ale do -10°C. Výstup z vyvíječe je 1 litr za minutu HHO 8 - 12 A nastavitelný až na 2,5 - 3 l HHO při max. proudu. Výstupní objem můžeme nastavit také přidáním dalšího elektrolytu do směsi nebo naředěním destilovanou vodou. Namontované mohou být téměř kdekoli v prostoru motoru díky své kompaktní velikosti.

Chladič:

Systém zůstává chladný a to i během delší jízdy díky měděno-hliníkovému chladiči. Není potřeba žádné čerpadlo, systém je samo oběhový. Všechny trubice jsou měděné. Hliníkové jsou pouze externí chladicí žebra. (To je důležité, protože elektrolyt, jako je hydroxid sodný a hydroxid draselný nesmí přijít do styku s hliníkem, reagují spolu - měď je zcela bezpečná). Chladič by měl být umístěn v přední části chladiče u chladiče vody.

Odlučovač bublin:

Odlučovače slouží k vyčištění HHO před vstupem do motoru a neutralizování potenciálních par od elektrolytu. Odlučovač působí jako kondenzátor páry a zároveň chrání proti neutralizaci a systémové kontaminaci. Součástí jsou i zpětné ventily. Zajišťují, aby se zabránilo případnému průchodu jiskry z motoru, aby se nedostala do nádržky nebo vyvíječe.

Zásobník:

Zásobník má tvar podobný nádržce na kapalinu ostřikovačů okna. Zásobníky jsou testovány na celkovou vzduchotěsnost. Každá nádrž projde před prodejem testováním. Nádrž pojme 1,42L směsi elektrolytu.

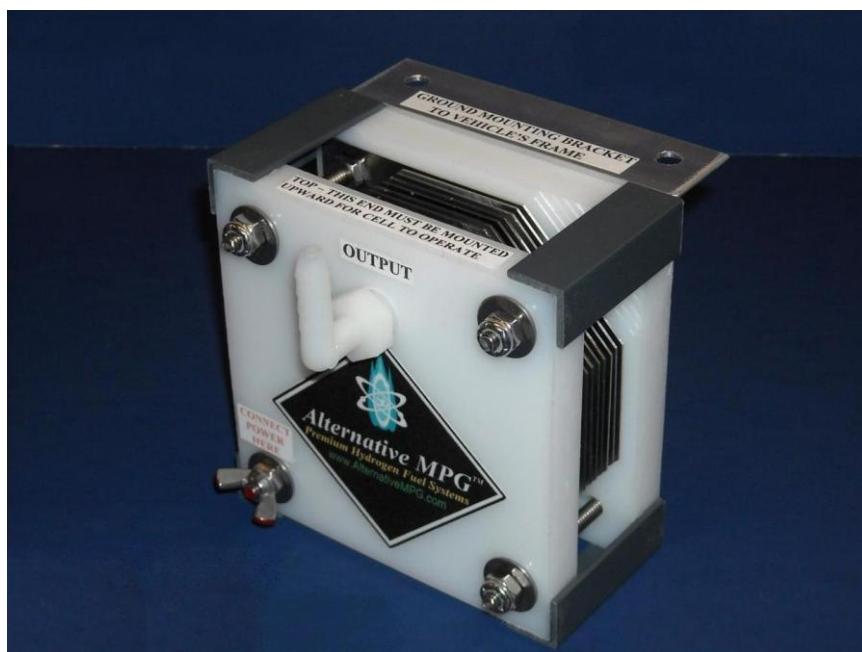
Použití elektrolytu:

Nejlepší je KOH (hydroxid draselný) v poměru cca 1-2 pol.lžíce na 1litr destilované vody. Dolévat by se měla pouze čistá destilovaná voda. Hydroxid se smíchá v 1l pouze na první náplň pro zvýšení vodivosti vody. Voda se mění cca po ujetí 5 tis.km, nebo poté, co začne “rezavět”.

Použití při nízkých teplotách

Je nutné zvýšit koncentraci KOH ve vodě na cca 20%. Tato zamezí zamrznutí do cca -10. Na větší mrazy je nutné vodu vypustit a systém odstavit, aby nedošlo k jeho poškození.

[2]

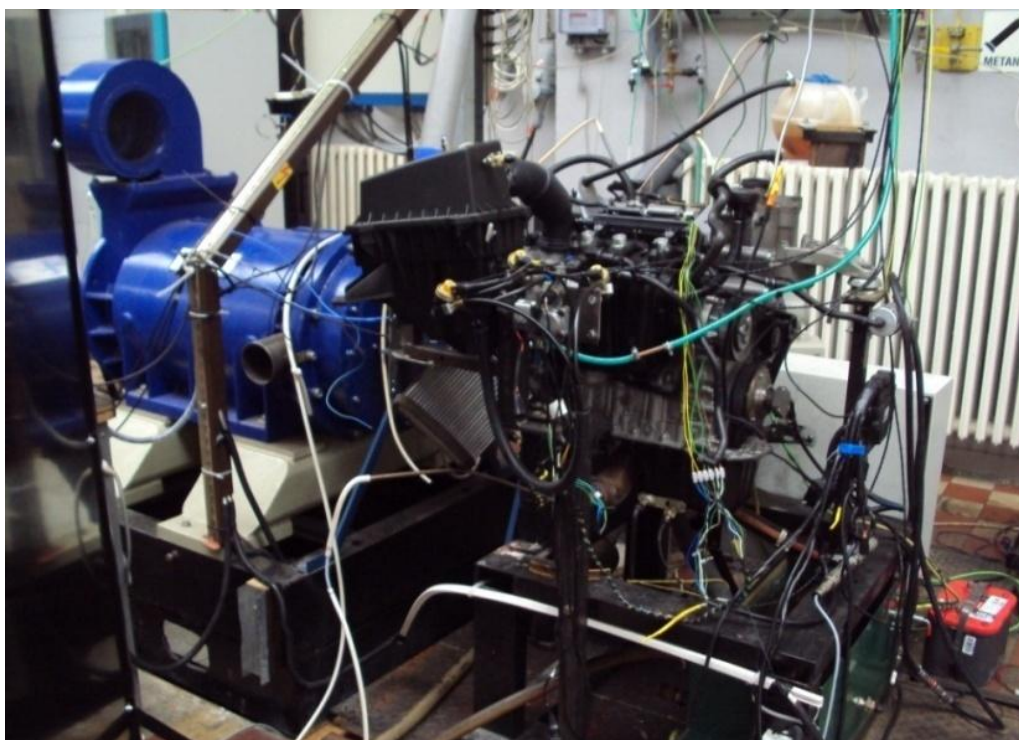


Obr. 6 Vyvíječ HHO [2]

3. Příprava měření:

3.1. Stanoviště:

Měření probíhalo v laboratořích KVM na stanovišti číslo 7 s motorem Škoda Auto 1.2 HTP. Jedná se o zážehový tříválcový nepřepřlňovaný motor s parametry: zdvihový objem 1198 $[cm^3]$, vrtání x zdvih 76,5 x 86,9 mm, kompresní poměr 10,3:1, maximální výkon 40 kw při 4750 $[min.^{-1}]$ a točivý moment 106 Nm při 3000 $[min.^{-1}]$.



Obr. 7 Stanoviště č. 7 s motorem Škoda Auto 1,2HTP

3.2. Technická dokumentace:

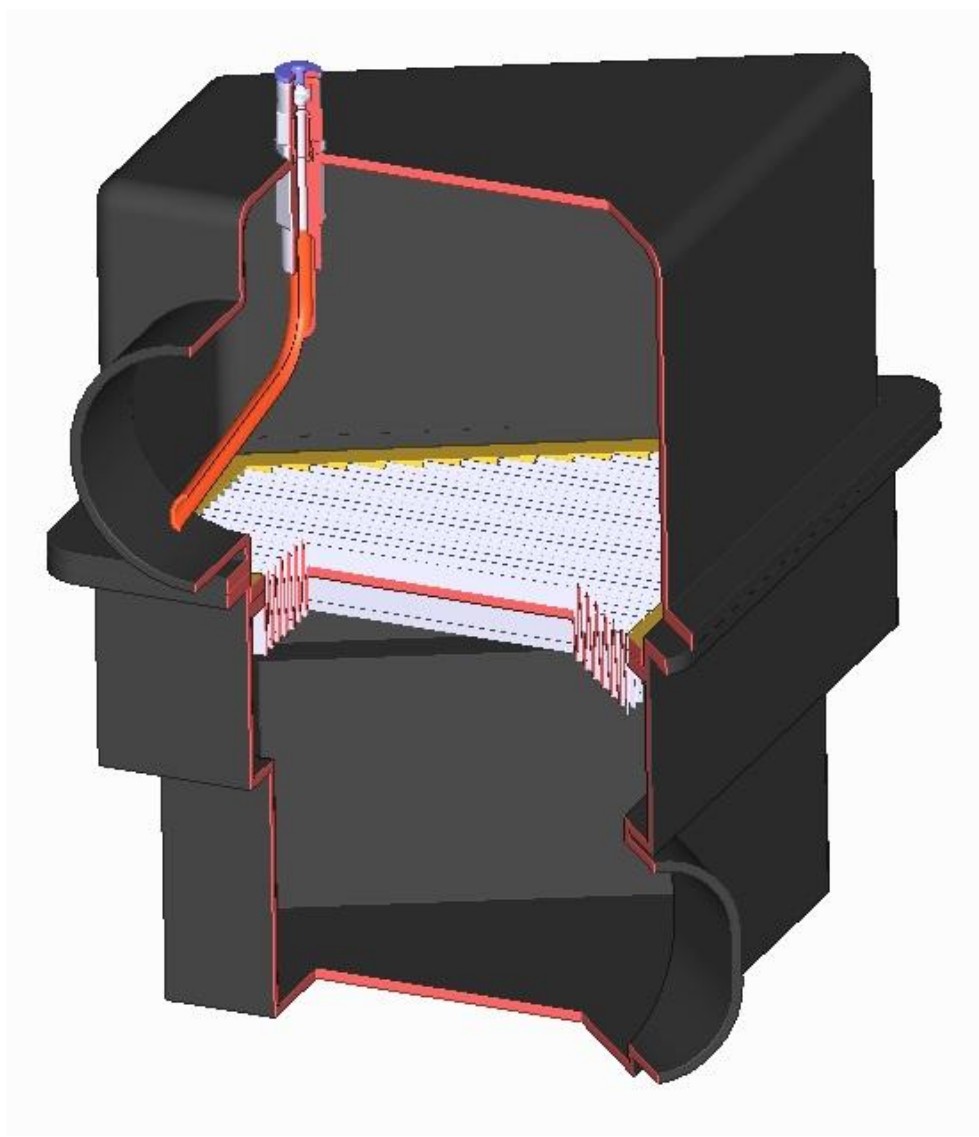
Vodík je přidáván nepřímo do sání za vzduchovým filtrem. Přívod je připevněn na vrchním díle airboxu v něm je vyvrtána díra. Dírou je prostrčena přechodka, která je stažena maticí. Na přechodce je přišroubován rychloupínací prvek vzduchotechniky, do kterého je vedena hadice s vodíkem. Měděné koleno je k přechodce připájeno a je vedeno do výstupu z airboxu.

Výkresy: 1. Výkres sestavy airboxu BP-02-02

2. Výkres podsestavy přívodu BP-02-01

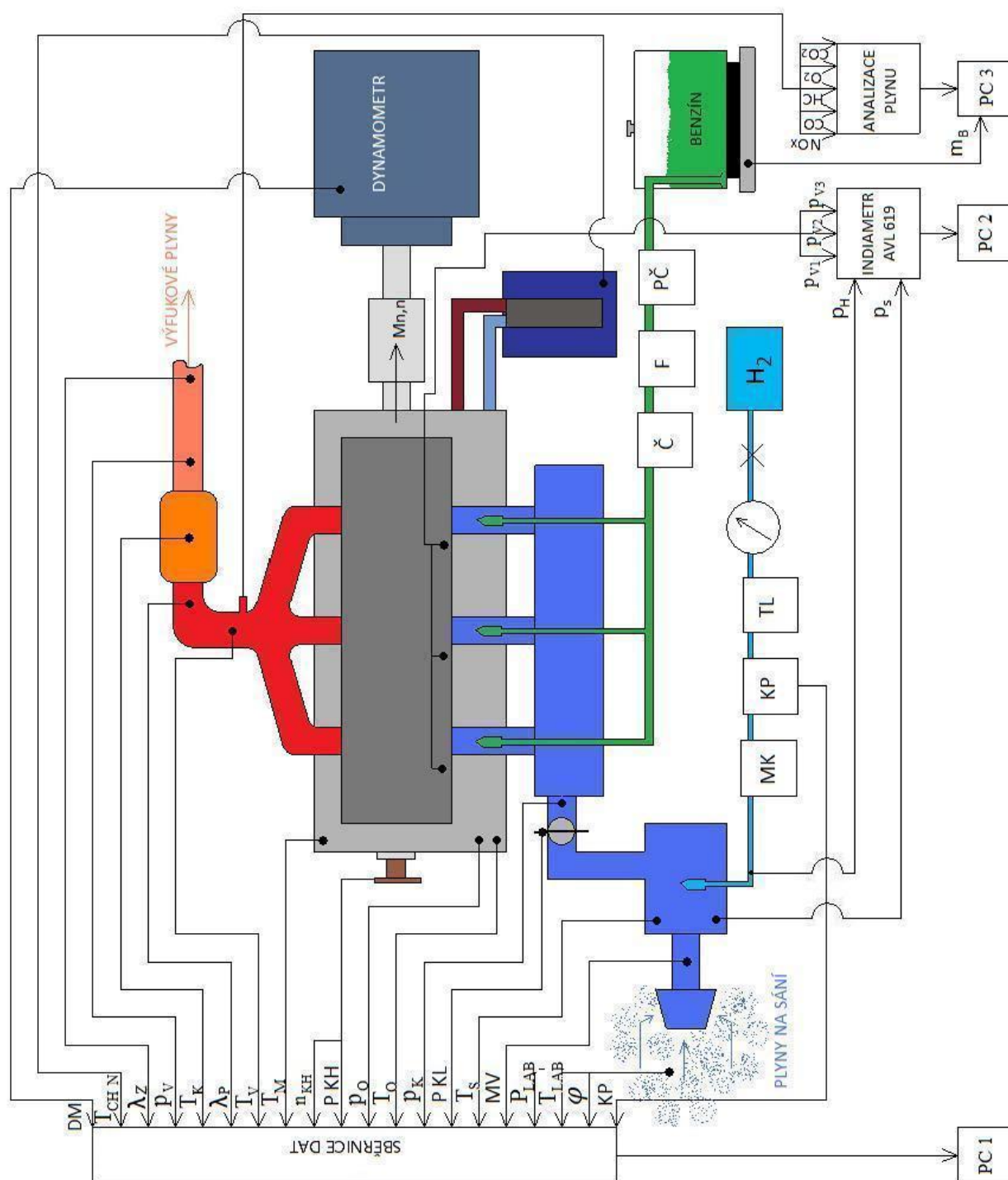
3. Výrobní výkres přechodky BP-01-02

4. Výrobní výkres kolene BP-01-01



Obr. 8 Model airboxu s přívodem vodíku

3.3. Schéma měřicího stanoviště:



Obr. 9 Schéma měřicího stanoviště

Legenda k schématu:

DM- kroutící moment, měřeno dynamometrem ASD S250

T_{CHN} - teplota vody v chladicí nádrži chladiče, měřeno snímačem PT100

λ_z - součinitel přebytku vzduchu za katalyzátorem, měřeno lambda sondou

P_v - tlak ve výfuku

T_K - teplota v jádru katalyzátoru, měřeno termočlánkem 1x NiCr-Ni 0336

λ_p - součinitel přebytku vzduchu před katalyzátorem, měřeno lambda sondou

T_v - teplota ve sběrném potrubí výfuku, měřeno termočlánkem 1x NiCr-Ni 0336

T_M - teplota chladicí vody v motoru

n_{KH} - otáčky klikového hřídele, snímáno inkrementálně pomocí AVL 365c01

P KH - poloha klikového hřídele, snímáno inkrementálně pomocí AVL 365c01

p_o - tlak motorového oleje

T_o - teplota motorového oleje, měřeno snímačem PT100

p_K - tlak za škrticí klapkou

P KL - poloha škrticí klapky

T_s - teplota vzduchu v sacím potrubí, měřeno snímačem PT100

MV - množství nasávaného vzduchu, měřeno digitálním průtokoměrem Sierra 620S

p_{LAB} - barometrický tlak v laboratoři

T_{LAB} - teplota v laboratoři

φ - relativní vlhkost v laboratoři

KP- množství vodíku vstříknuté do sání, měřeno Koriolisovým průtokoměrem

m_B - hmotnost benzínu v nádrži, měřeno, digitální váhou Sartorius

p_s - tlak na sání

p_H - tlak vodíku vstupující do sání

p_{V1}, p_{V2}, p_{V3} - Tlaky v jednotlivých válcích,
měřeno nábojovými piezo elektrickými snímači AVL GU21c

TL - tlakoměr

KP - Koriolisův průtokoměr

MK - plovákový průtokoměr Emkometr 9K3

PČ - podávací čerpadlo

F - palivový filtr

Č – palivové čerpadlo

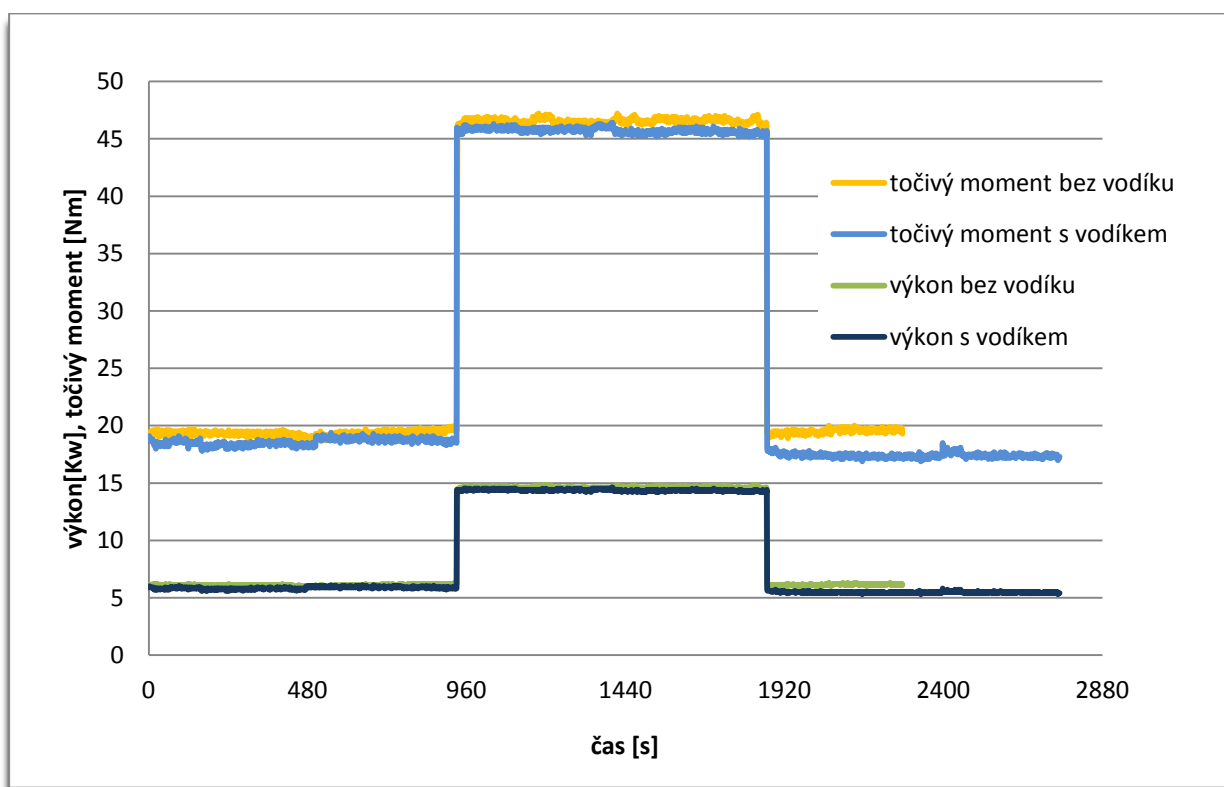
4. Vyhodnocení měření:

Parametry nasávaného vzduchu byly barometrický tlak v laboratoři 96,6 kPa, teplota v laboratoři 25,5 °C a relativní vlhkost 29 %. Samotné měření probíhalo v jedenácti cyklech po osmi minutách při konstantních otáčkách 3000 [min.^{-1}]. Začínalo se bez přidání vodíku s klapkou sání otevřenou na 19 % po osmi minutách se do sacího potrubí začal přidávat vodík v množství 8,5 [$\text{dm}^3/\text{min.}$]. S těmito hodnotami se měření zopakovalo do času 32 min. Poté se klapka otevřela na 25 % začínalo se opět bez přidání vodíku. Měřilo se ve čtyřech cyklech do času 64 min. Pak se změnilo přidávané množství vodíku na 20 [$\text{dm}^3/\text{min.}$] a klapka se přiškrtila na 19 %. Začínalo se s přidáváním vodíku po osmi minutách bez vodíku a po dalších osmi minutách s vodíkem do času 88 min. Měřili se veškeré hodnoty vis. schéma po každé vteřině. Před měřením byl motor ohřán na provozní teplotu. Hodnoty pro indikaci byly získány mezi každou šestou a sedmou minutou cyklu. Značení každého cyklu je, že první číslice značí otevření klapky v % a druhá číslice množství přidávaného vodíku v [$\text{dm}^3/\text{min.}$]

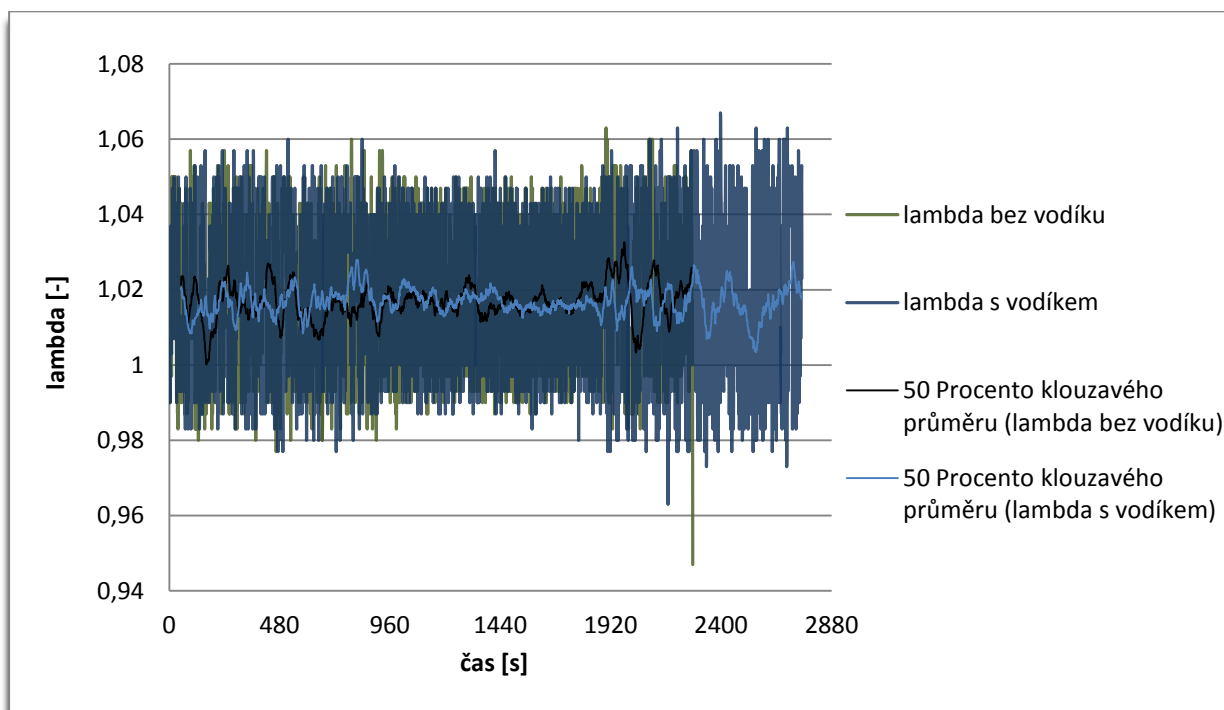
ZNAČENÍ	KLAPKA [%]	H ₂ [$\text{dm}^3/\text{min.}$]	ČAS [min.]
1.cykl (19)	19		0 až 8
2.cykl (19-8,5)	19	8,5	8 až 16
3.cykl (19)	19		16 až 24
4.cykl (19-8,5)	19	8,5	24 až 32
5.cykl (25)	25		32 až 40
6.cykl (25-8,5)	25	8,5	40 až 48
7.cykl (25)	25		48 až 56
8.cykl (25-8,5)	25	8,5	56 až 64
9.cykl (19-20)	19	20	64 až 72
10.cykl (19)	19		72 až 80
11.cykl (19-20)	19	20	80 až 88

Tab. 1 průběh měření

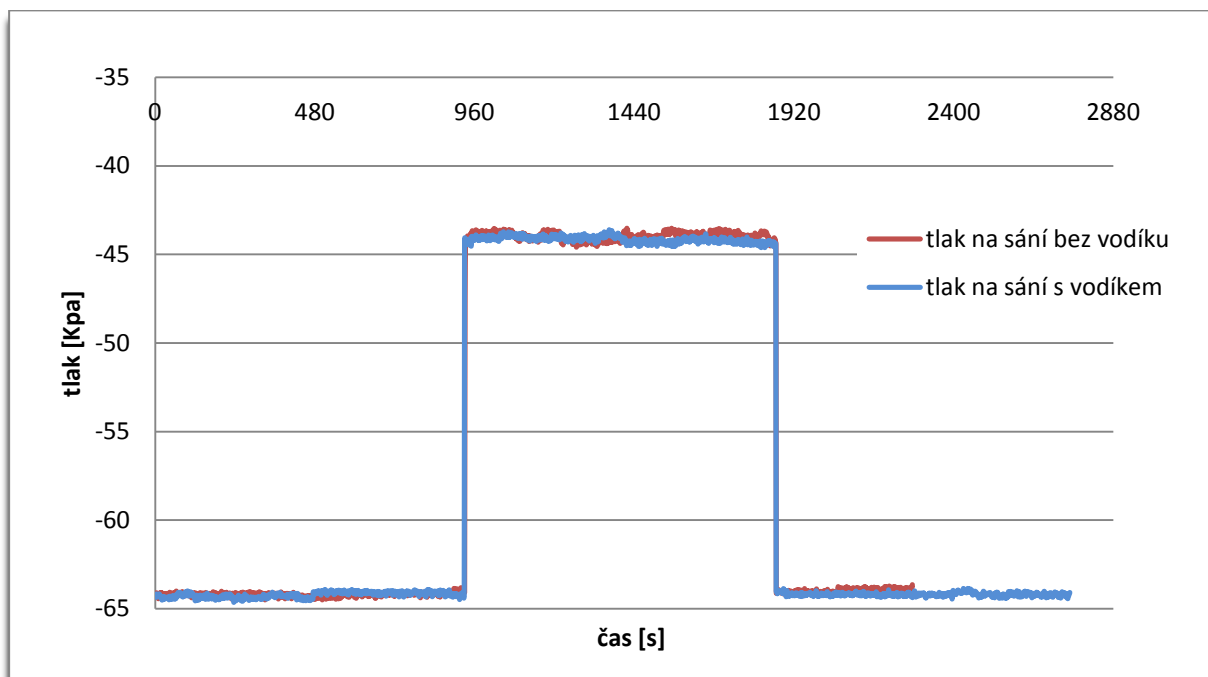
4.1. Graficky znázorněné trendy změn měřených veličin:



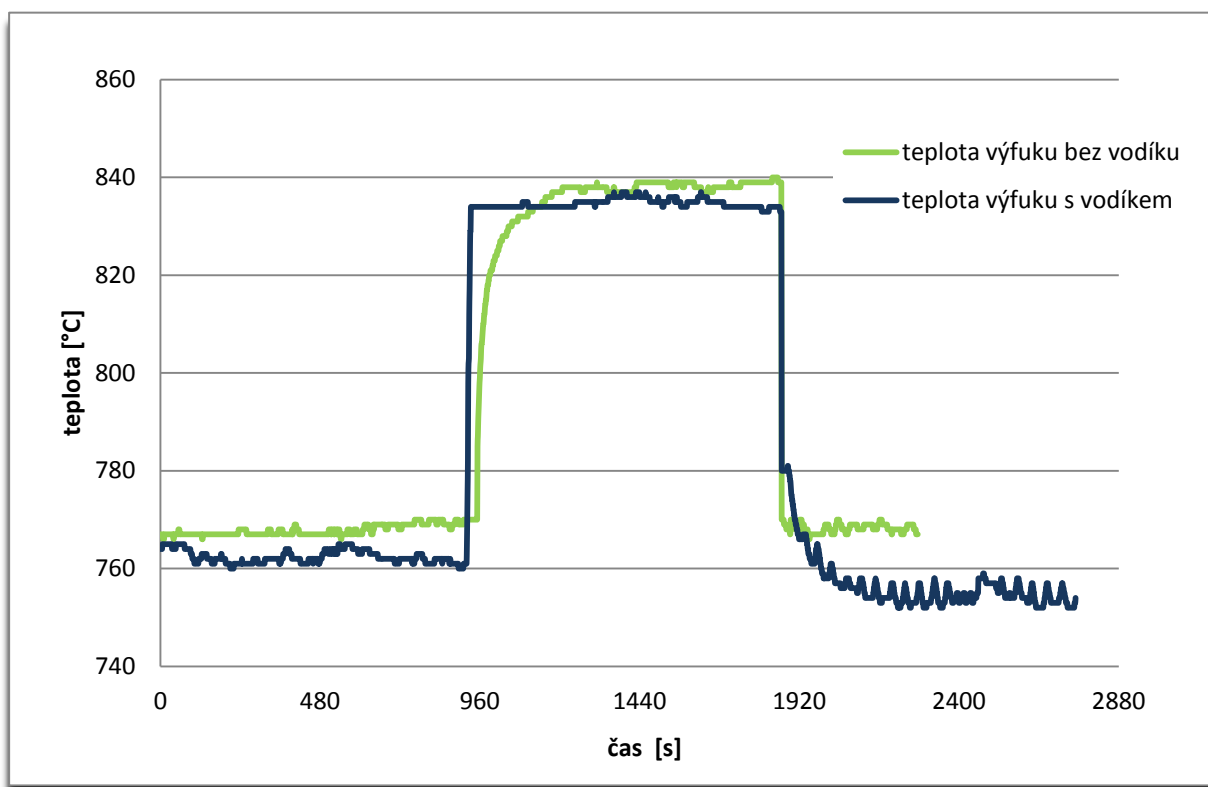
Graf 5 závislost výkonu a točivého momentu na čase



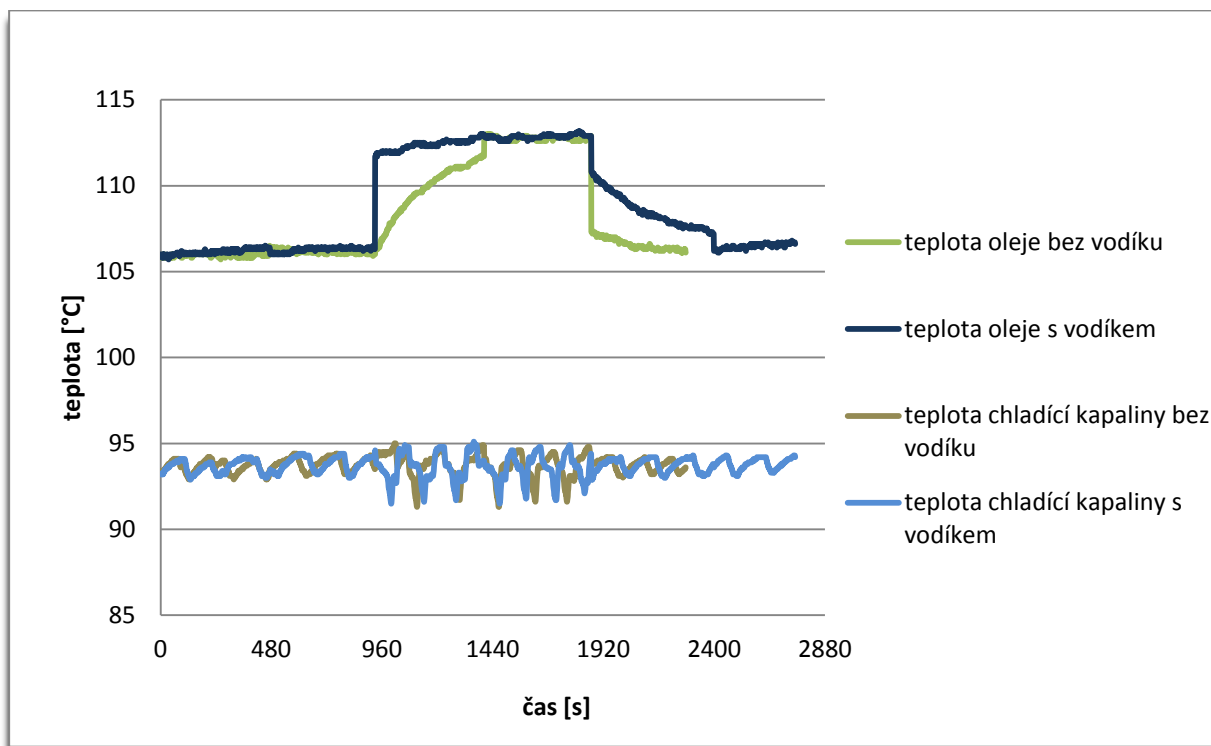
Graf 6 závislost poměru lambda na čase.



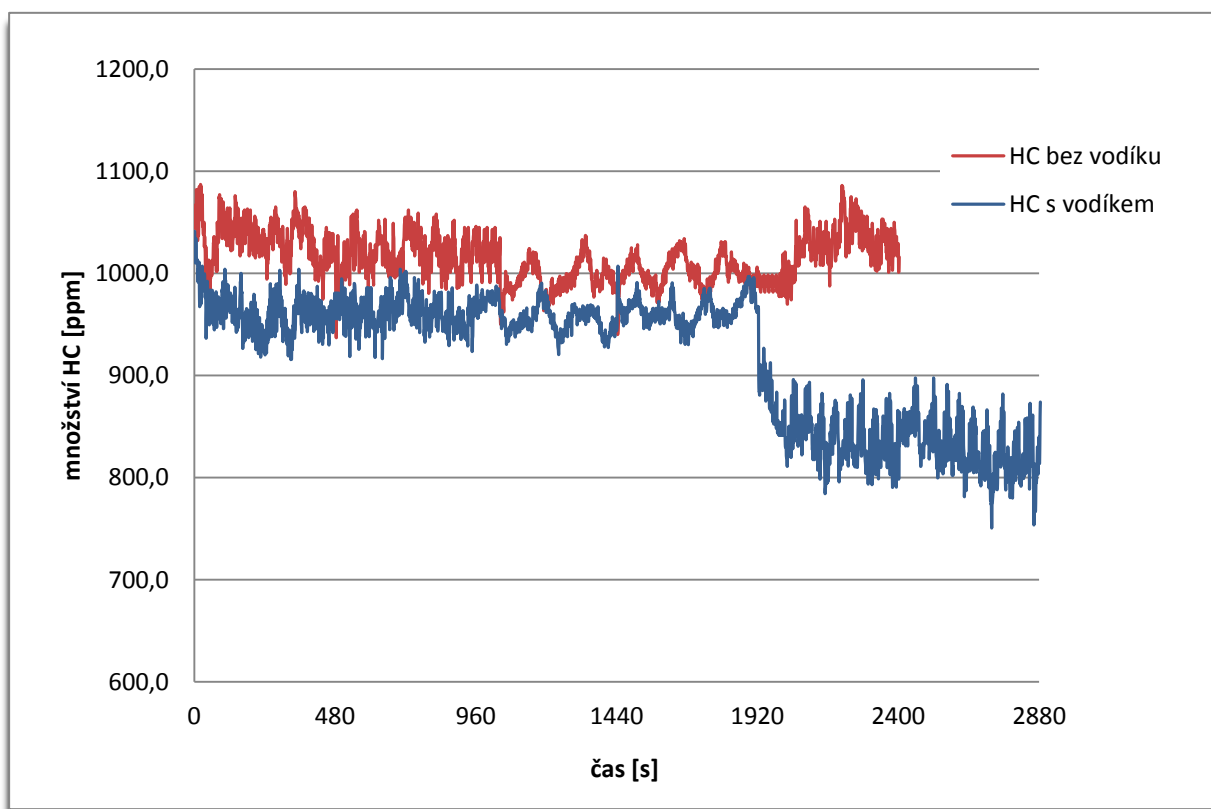
Graf 7 závislost podtlaku sání na čase



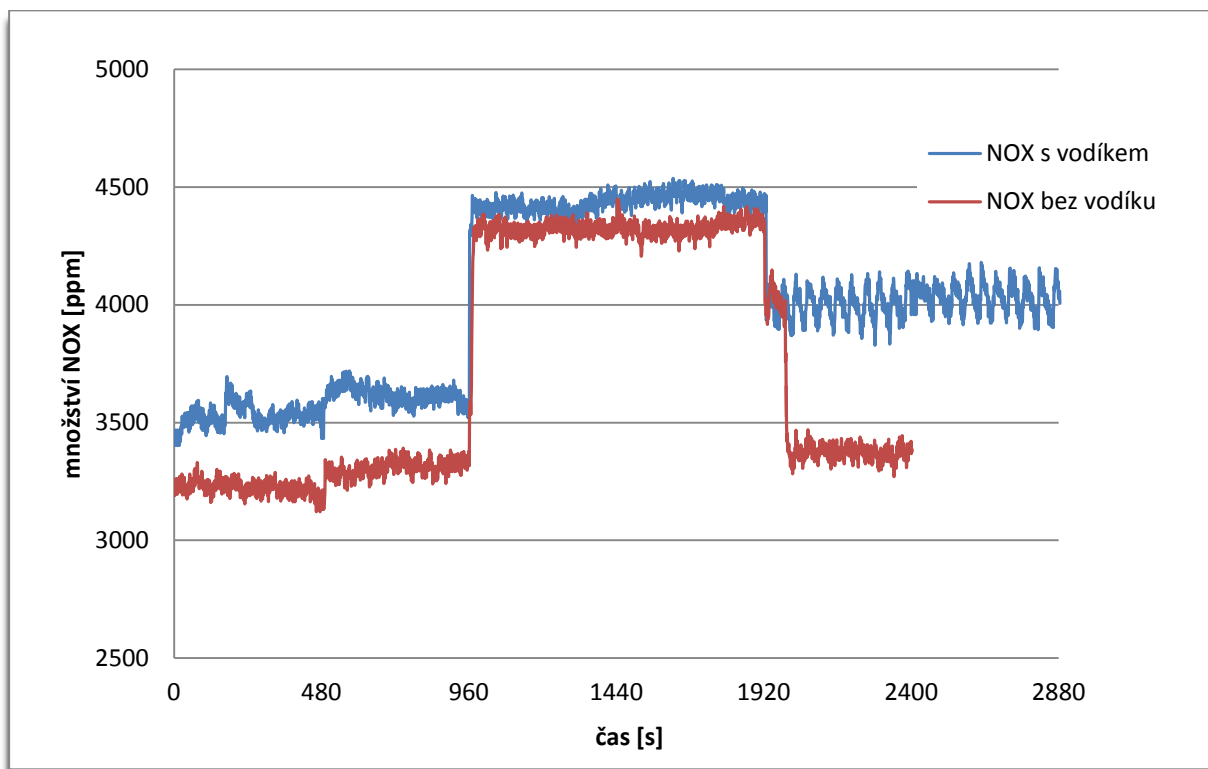
Graf 8 závislost teploty výfuku na čase



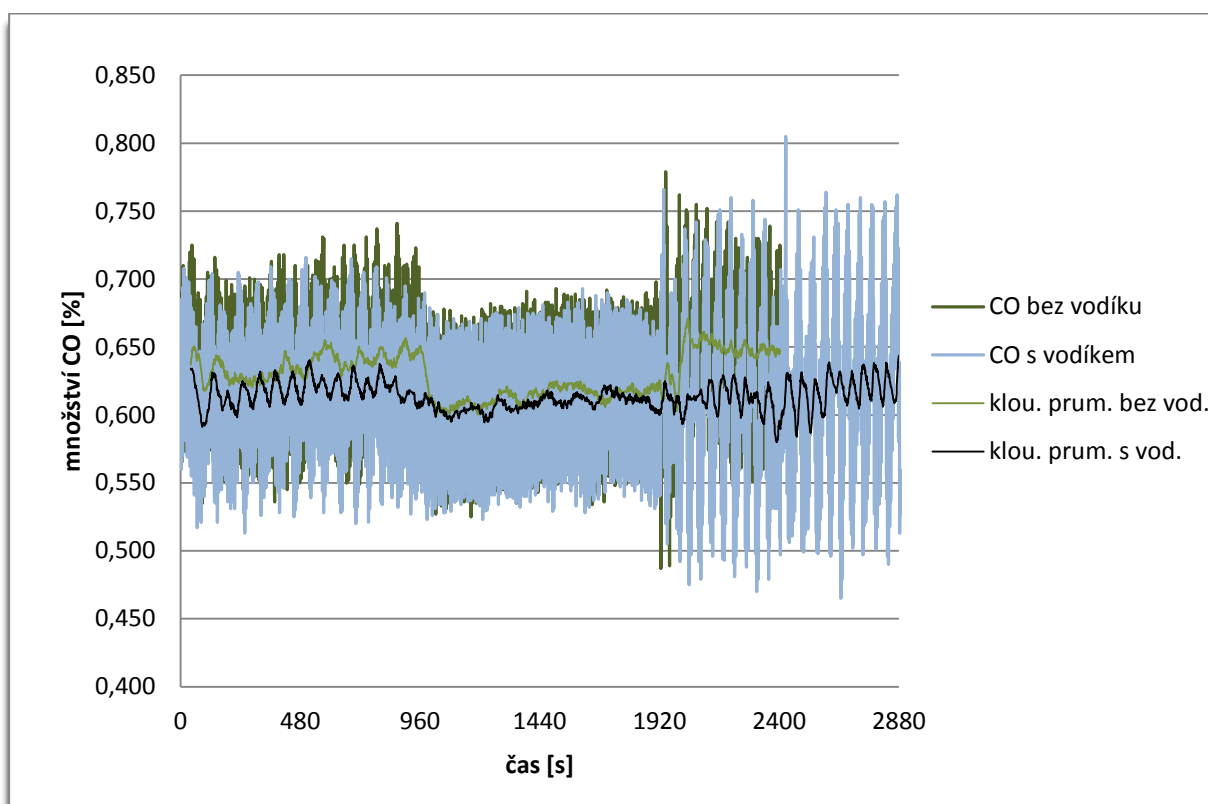
Graf 9 závislost teploty oleje a chladící kapaliny na čase.



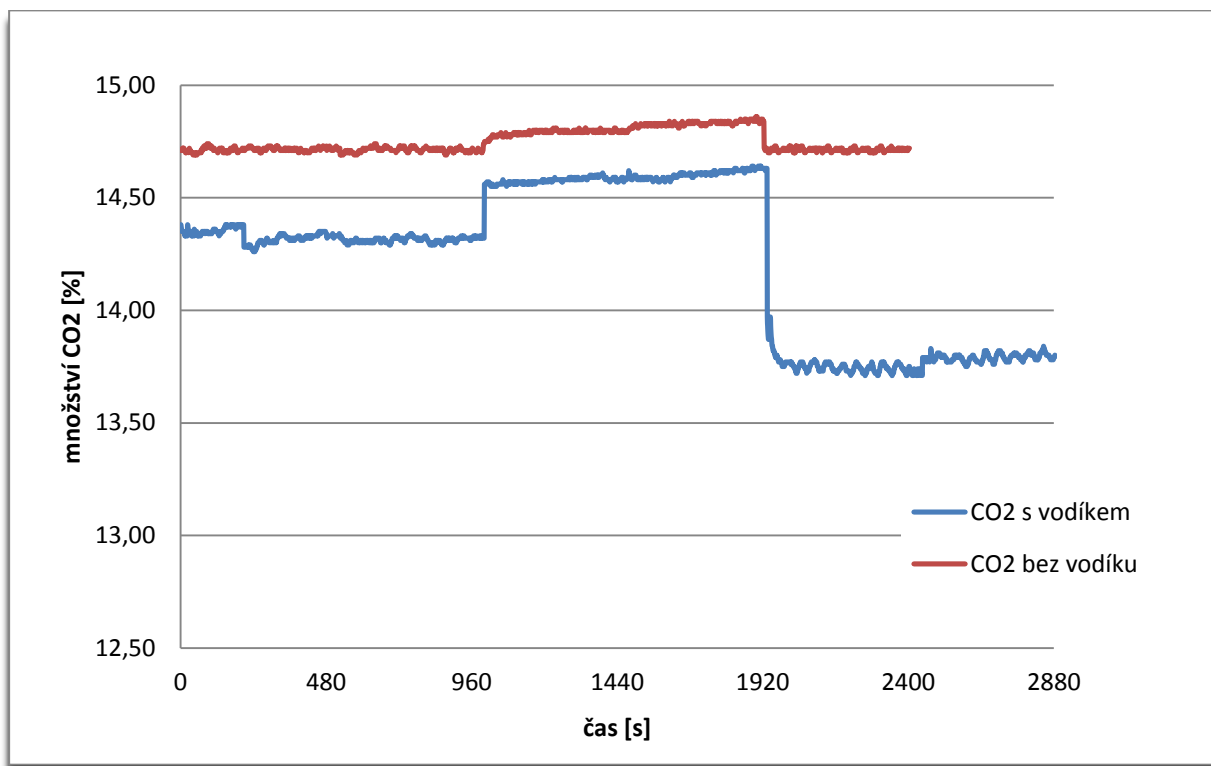
Graf 10 množství HC v závislosti na čase



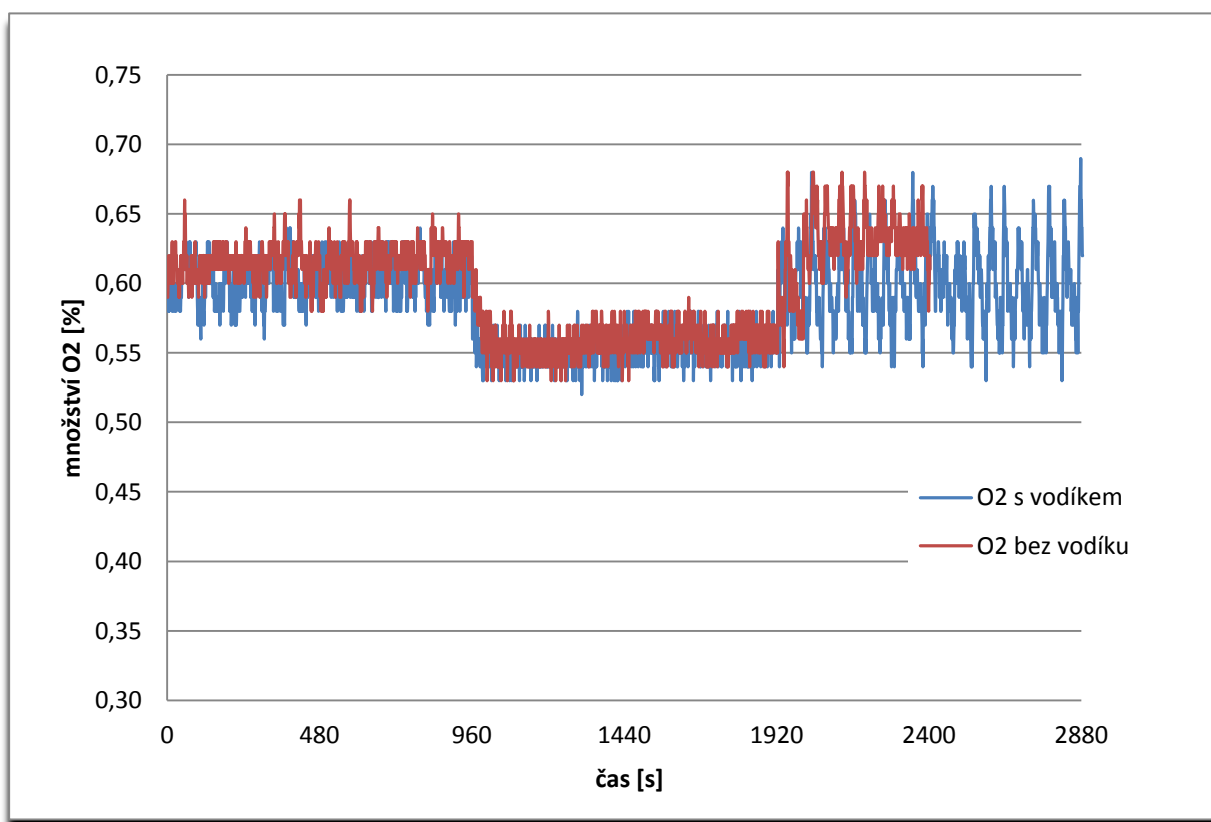
Graf 11 množství NOX v závislosti na čase.



Graf 12 množství CO v závislosti na čase.



Graf 13 množství CO₂ v závislosti na čase



Graf 14 množství O₂ v závislosti na čase.

4.2. Zprůměrované hodnoty měření:

Hodnoty, které se průměrovaly, byly brány ve stejném čase jako indikace, a to mezi 6. a 7. minutou měření každého cyklu. (1. až 6. ustálení, 6. až 7. indikace a průměrované hodnoty, 7. až 8. doběh).

	MOMENT [Nm]	KLAPKA [%]	VÝKON [kW]	T Vody [°C]
1.cykl (19)	19,32	19	6,06	93,77
2.cykl (19-8,5)	18,5	19	5,8	94,1
3.cykl (19)	19,53	19	6,13	93,55
4.cykl (19-8,5)	18,8	19	5,9	93,42
5.cykl (25)	46,34	25	14,56	93,16
6.cykl (25-8,5)	45,8	25	14,38	93,54
7.cykl (25)	46,37	25	14,56	93,04
8.cykl (25-8,5)	45,53	25	14,3	94,13
9.cykl (19-20)	17,35	19	5,44	93,28
10.cykl (19)	19,61	19	6,16	93,85
11.cykl (19-20)	17,39	19	5,46	94,16

Tab. 2 Průměry hodnot z každého cyklu zvlášť.

	T Olej [°C]	T Výfuku [°C]	P Sání [kPa]	Lambda BC [-]
1.cykl (19)	105,88	767,53	-63,23	1,019
2.cykl (19-8,5)	106,33	762,56	-64,24	1,015
3.cykl (19)	106,08	769,42	-64,13	1,018
4.cykl (19-8,5)	106,36	761,75	-64,09	1,019
5.cykl (25)	111,11	837,98	-44,27	1,012
6.cykl (25-8,5)	112,57	834,95	-44,06	1,018
7.cykl (25)	112,69	839	-44,04	1,021
8.cykl (25-8,5)	112,99	833,83	-44,31	1,017
9.cykl (19-20)	107,98	754,28	-64,2	1,012
10.cykl (19)	106,28	768,52	-63,91	1,016
11.cykl (19-20)	106,55	755,15	-64,14	1,015

Tab. 3 Průměry hodnot z každého cyklu zvlášť.

	HC [ppm]	NOX [ppm]	CO [%]	CO2 [%]	O2 [%]
1.cykl (19)	1031,5	3214	0,635	14,71	0,62
2.cykl (19-8,5)	962,3	3535	0,618	14,32	0,61
3.cykl (19)	1014,5	3308	0,648	14,71	0,62
4.cykl (19-8,5)	954,5	3616	0,617	14,31	0,61
5.cykl (25)	1006,1	4324	0,608	14,8	0,54
6.cykl (25-8,5)	960,8	4420	0,607	14,59	0,55
7.cykl (25)	1007,8	4350	0,614	14,84	0,56
8.cykl (25-8,5)	960,6	4439	0,61	14,62	0,55
9.cykl (19-20)	825,4	4004	0,623	13,74	0,59
10.cykl (19)	1027,3	3358	0,645	14,71	0,64
11.cykl (19-20)	811,3	4029	0,635	13,8	0,6

Tab. 4 Průměry hodnot z každého cyklu zvlášť.

	MOMENT [Nm]	KLAPKA [%]	VÝKON [kW]	T Vody [°C]
1. a 3.cykl (19)	19,425	19	6,095	93,66
2. a 4.cykl (19-8,5)	18,65	19	5,85	93,76
5. a 7.cykl (25)	46,355	25	14,56	93,1
6. a 8.cykl (25-8,5)	45,665	25	14,34	93,835
10.cykl (19)	19,61	19	6,16	93,85
9. a 11.cykl (19-20)	17,37	19	5,45	93,72

Tab. 5 Průměry hodnot cyklů se stejně otevřenou klapkou a se stejně přiváděným množstvím vodíku.

	T Oleje [°C]	T Výfuku [°C]	P Sání [kPa]	Lambda BC [-]
1. a 3.cykl (19)	105,98	768,475	-63,68	1,0185
2. a 4.cykl (19-8,5)	106,345	762,155	-64,165	1,017
5. a 7.cykl (25)	111,9	838,49	-44,155	1,0165
6. a 8.cykl (25-8,5)	112,78	834,39	-44,185	1,0175
10.cykl (19)	106,28	768,52	-63,91	1,016
9. a 11.cykl (19-20)	107,265	754,715	-64,17	1,0135

Tab. 6 Průměry hodnot cyklů se stejně otevřenou klapkou a se stejně přiváděným množstvím vodíku.

	HC [ppm]	NOX [ppm]	CO [%]	CO2 [%]	O2 [%]
1. a 3.cykl (19)	1023	3261	0,6415	14,71	0,62
2. a 4.cykl (19-8,5)	958,4	3575,5	0,6175	14,315	0,61
5. a 7.cykl (25)	1006,95	4337	0,611	14,605	0,55
6. a 8.cykl (25-8,5)	960,7	4429,5	0,6085	14,605	0,55
10.cykl (19)	1027,3	3358	0,645	14,71	0,64
9. a 11.cykl (19-20)	818,35	4016,5	0,629	13,77	0,595

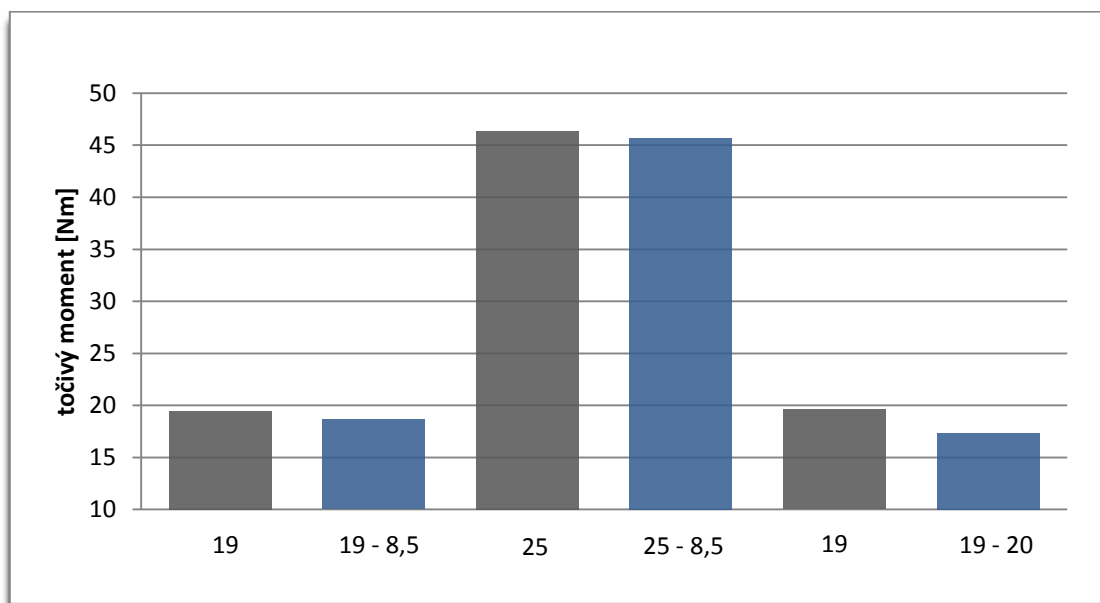
Tab. 7 Průměry hodnot cyklů se stejně otevřenou klapkou a se stejně přiváděným množstvím vodíku.

	HC [g/Kwh]	NOX [g/Kwh]	CO [g/Kwh]	CO2 [g/Kwh]	O2 [g/Kwh]
1. a 3.cykl (19)	5,898713	18,80323	36,98949	848,1923	35,74978
2. a 4.cykl (19-8,5)	5,52177	20,60005	35,57693	824,751	35,14482
5. a 7.cykl (25)	3,934922	16,94797	23,87643	579,1305	21,4927
6. a 8.cykl (25-8,5)	3,840737	17,70849	24,32693	583,8864	21,98819
10.cykl (19)	5,892607	19,26153	36,99729	843,7676	36,71049
9. a 11.cykl (19-20)	5,029426	24,68466	38,65716	846,2784	36,56758

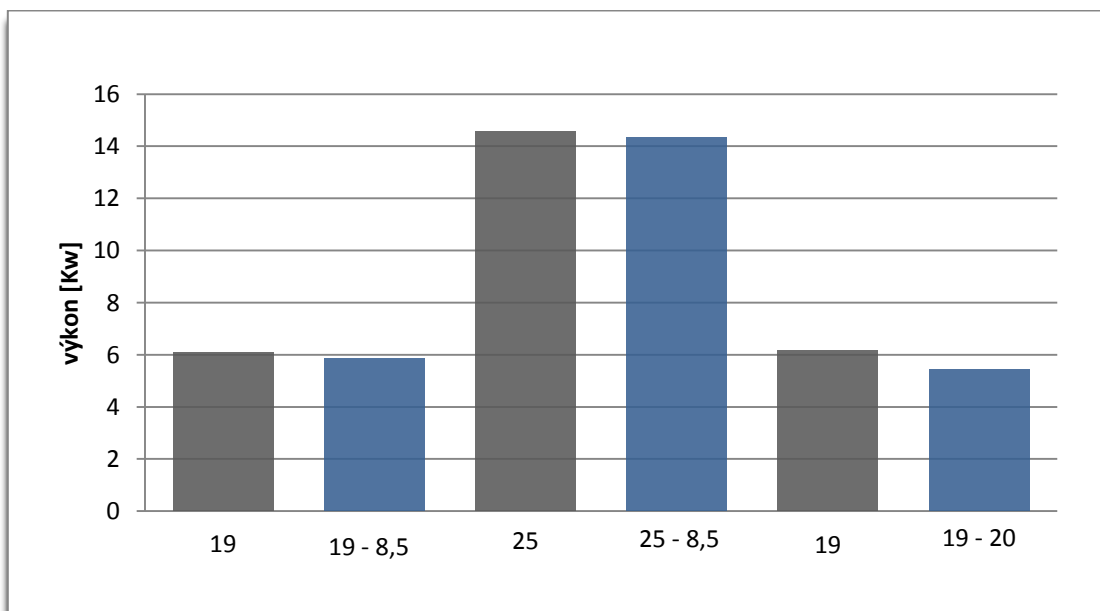
Tab. 8 Procentuální obsah přepočtený na [g/kwh].

4.3. Graficky znázorněný trend změn v závislosti na typu cyklu:

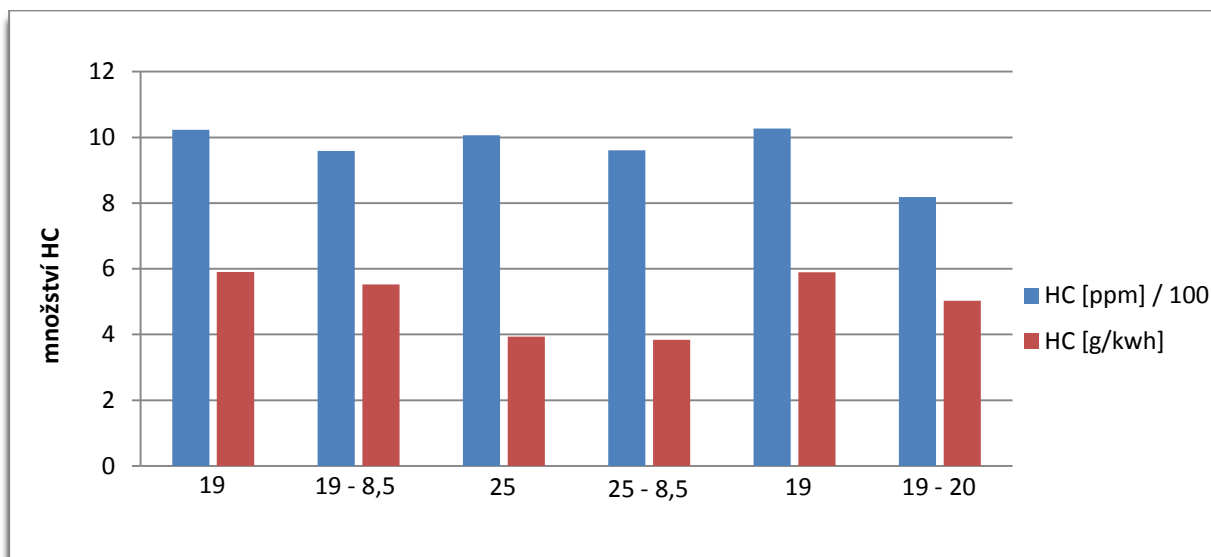
V každém grafu je vždy znázorněna průměrná hodnota dané veličiny v závislosti na typu cyklu a množství výfukových plynů v [g/kwh]. Značení cyklu je jako v předešlém odstavci: 1. číslice značí velikost otevření klapky v % a 2. Číslice značí množství převáděného vodíku v [dm^3/min].



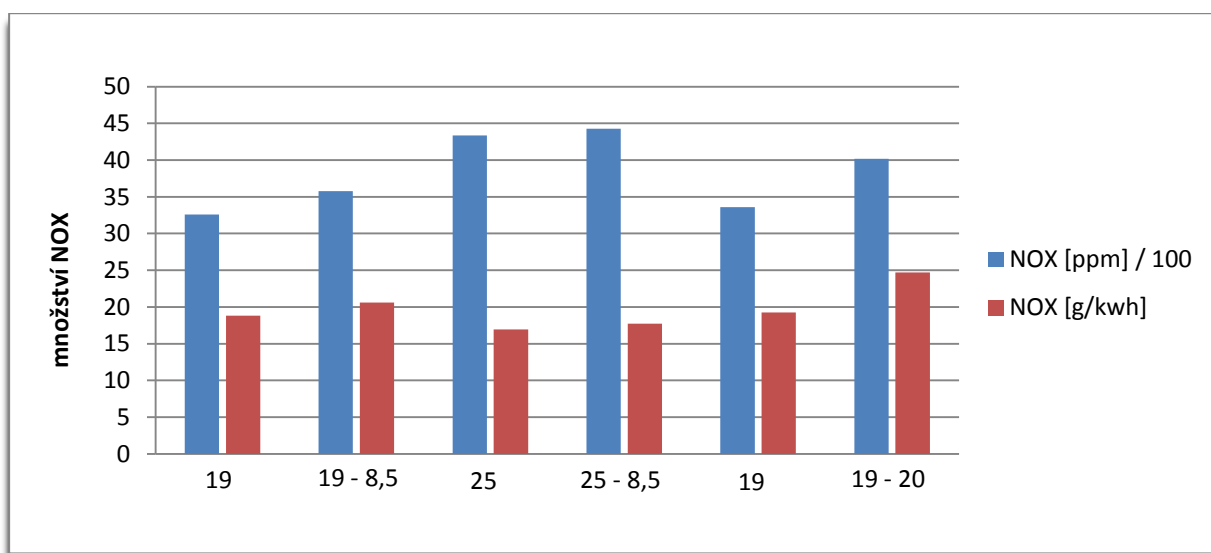
Graf 15 točivý moment v závislosti na typu cyklu.



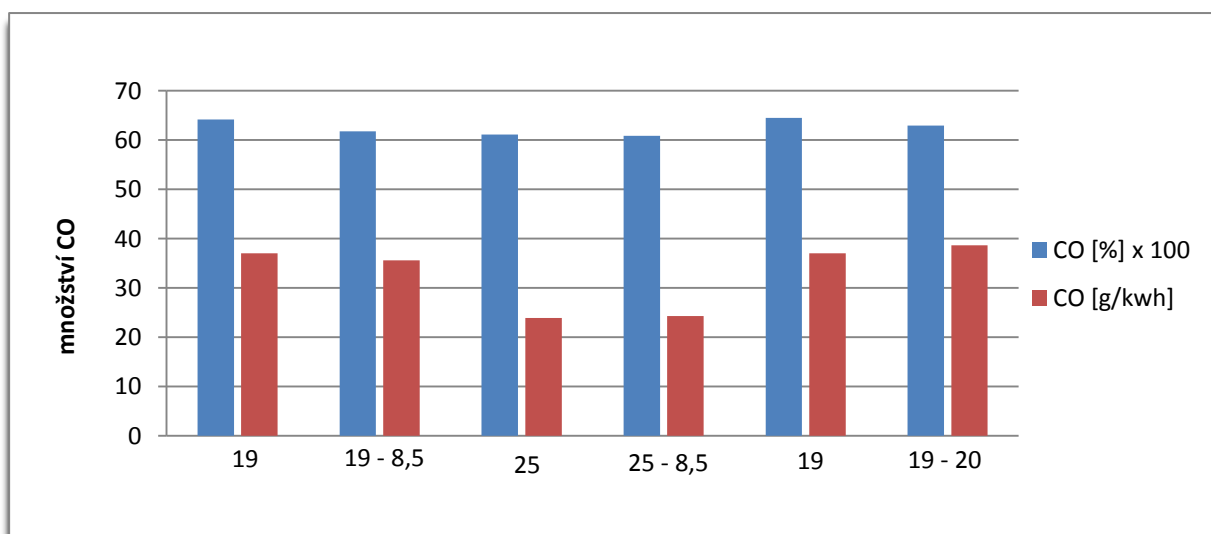
Graf 16 výkon na typu cyklu.



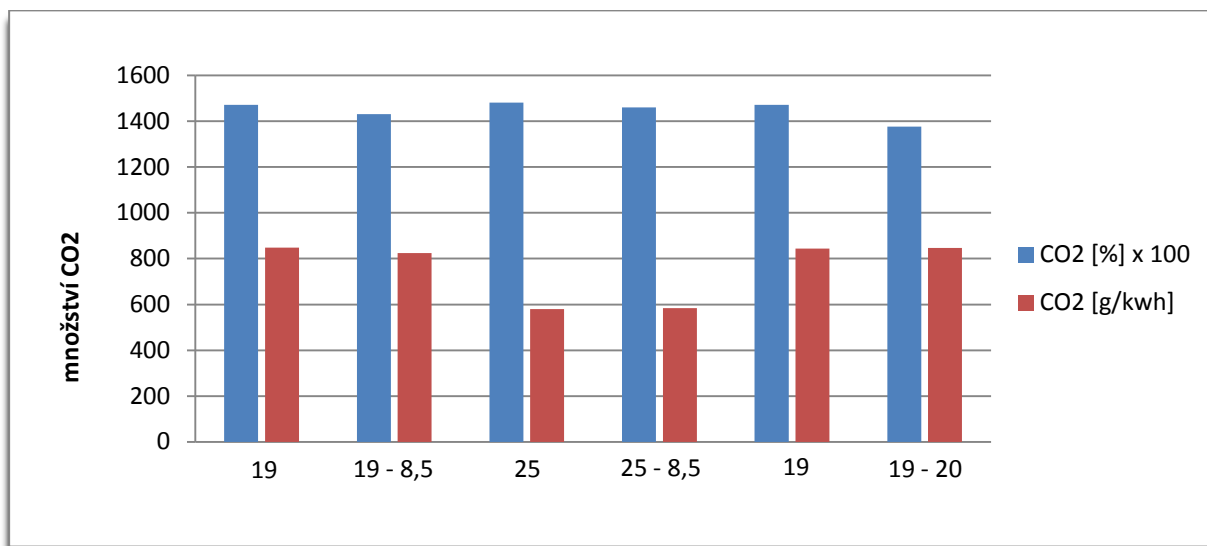
Graf 17 množství HC v závislosti na typu cyklu.



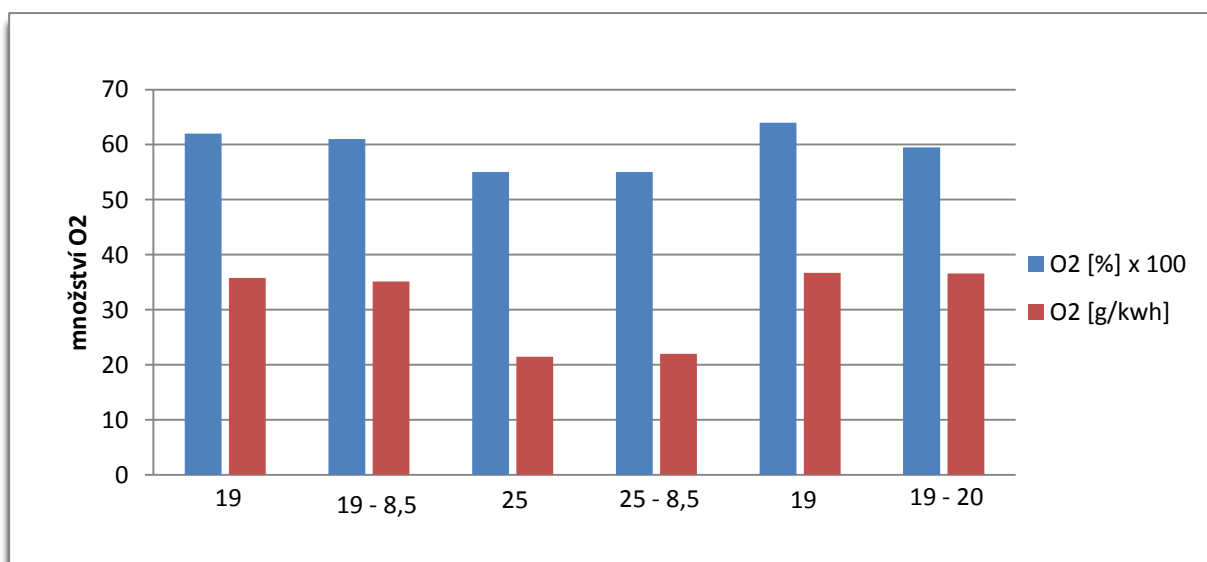
Graf 18 množství NOx v závislosti na typu cyklu.



Graf 19 množství CO v závislosti na typu cyklu.



Graf 20 množství CO2 v závislosti na typu cyklu.



Graf 21 množství O2 v závislosti na typu cyklu.

4.4. Procentuální změny:

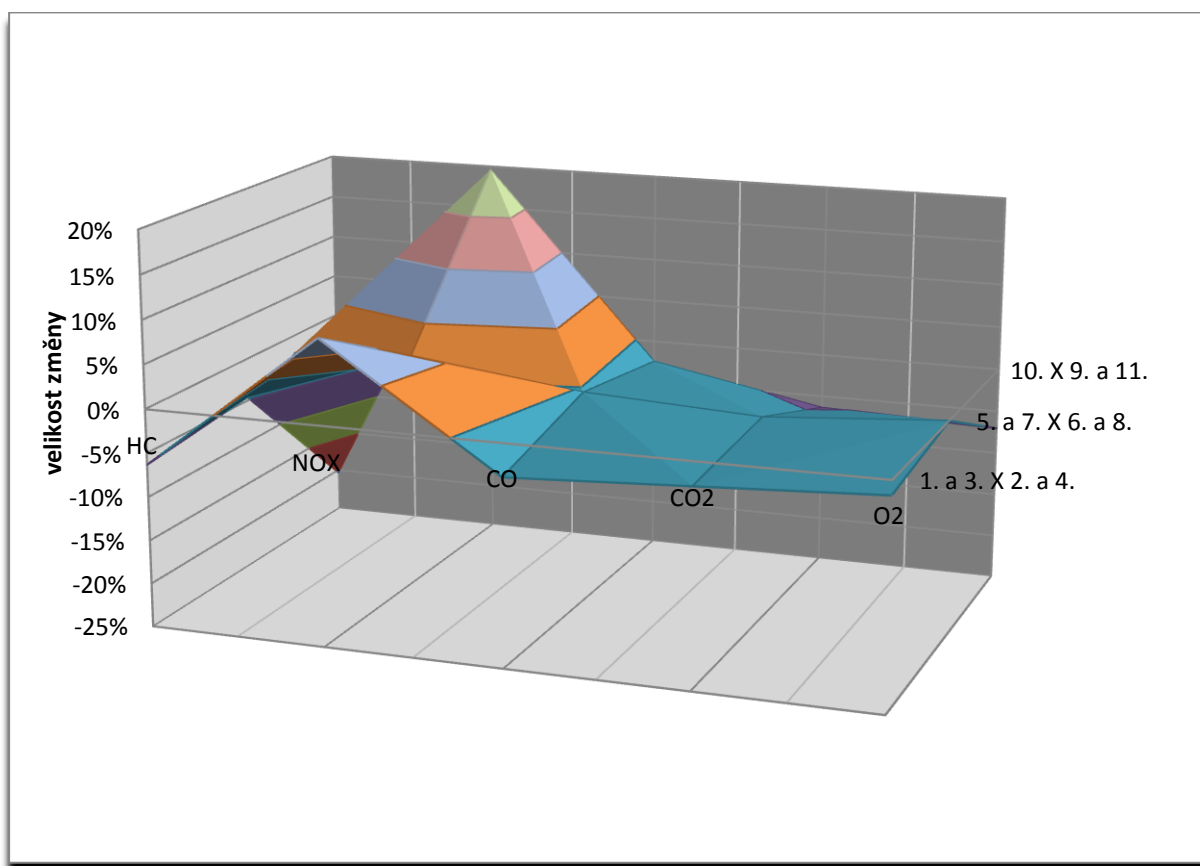
Hodnoty v procentech vyjadřují změnu dané veličiny v závislosti jestli byl nebo nebyl přidáván vodík. Jako výchozí hodnota byla brána hodnota bez přidávání vodíku. Tedy pokud se po přidání vodíku veličina snížila je před výslednou hodnotou záporné znaménko.

	MOMENT	VÝKON	T Vody	T Oleje	T Výfuku	P Sání	Lambda
1. a 3. x 2. a 4.	-4%	-4,02%	0,10%	0,34%	-0,82%	-0,76%	-0,14%
5. a 7. x 6. a 8.	-1,48%	-1,51%	0,79%	0,78%	-0,49%	-0,07%	0,10%
10. x 9. a 11.	-11,42%	-11,52%	-0,14%	0,93%	-1,79%	-0,41%	-0,24%

Tab. 9 Procentuální změny veličin.

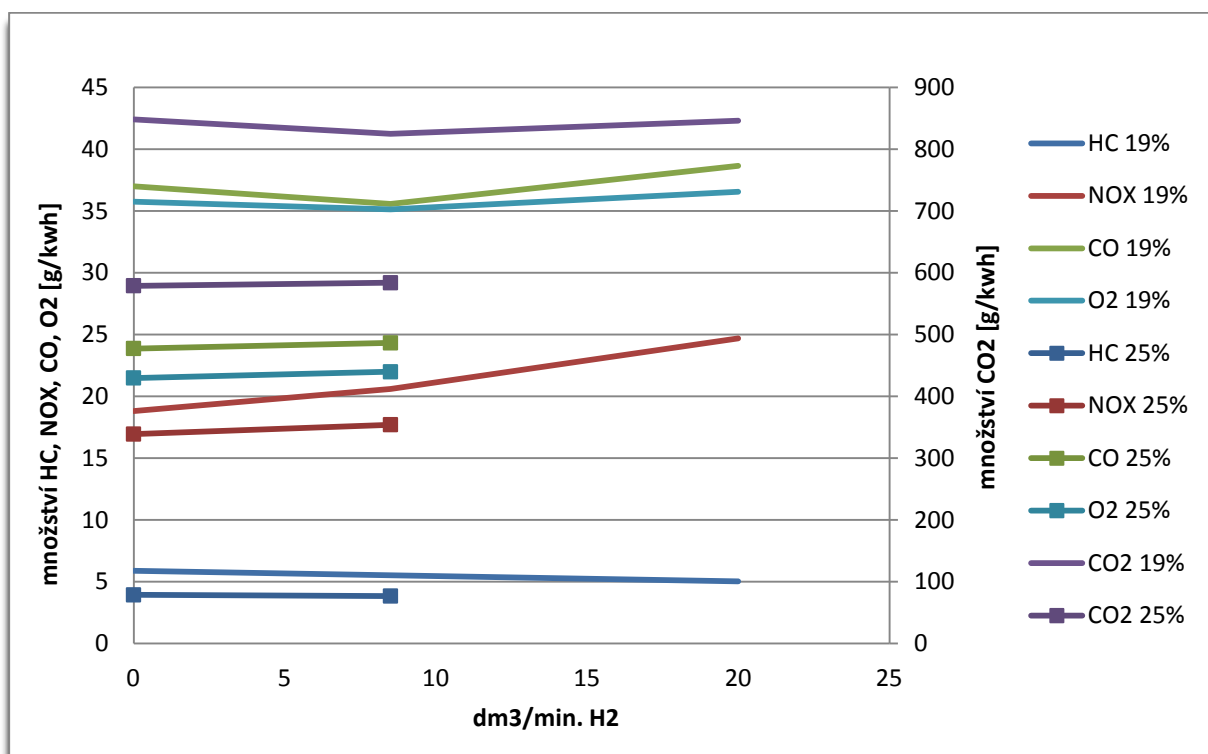
	HC	NOX	CO	CO2	O2
1. a 3. X 2. a 4.	-6,31%	9,64%	-3,74%	-2,68%	-1,61%
5. a 7. X 6. a 8.	-4,59%	2,13%	-0,41%	-1,45%	0%
10. X 9. a 11.	-20,34%	19,61%	-2,48%	-6,39%	-7,03%

Tab. 10 Procentuální změny veličin.



Graf 22 procentuální změny výfukových plynů.

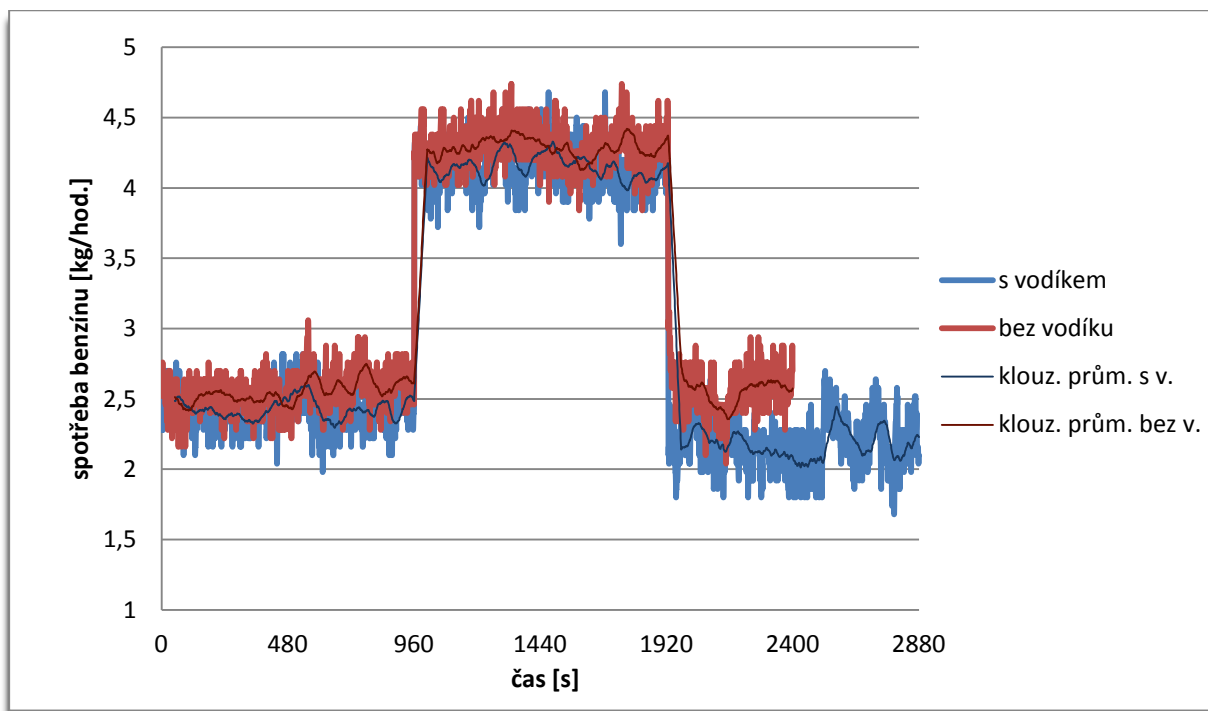
V následujícím grafu je dosazováno měrné množství emisí výfukových plynů při klapce otevřené na 19% a 25% (rozlišeno čtverečkem a legendou).



Graf 23 měrné množství emisí výfukových plynů v závislosti na množství H₂.

4.5. Změna spotřeby paliva (benzínu):

Při zkoušce se spotřeba zjišťovala vážením nádrže s palivem v reálném čase.



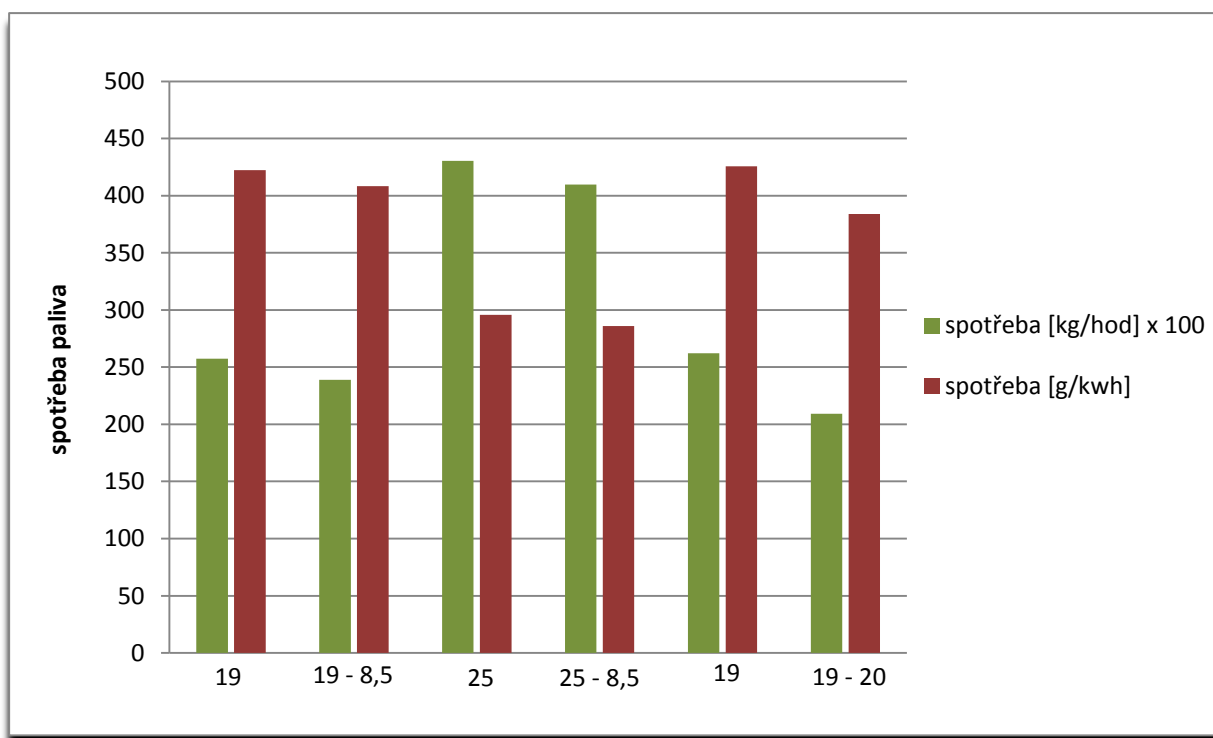
Graf 24 závislost spotřeby paliva na čase.

4.5.1. Průměrné hodnoty:

Hodnoty k průměrování byly brány opět mezi 6. a 7. minutou každého cyklu.

	[kg/hod.]	[g/kwh]
1. a 3.cykl (19)	2,5745	422,3954
2. a 4.cykl (19-8,5)	2,389	408,3761
5. a 7.cykl (25)	4,3045	295,6387
6. a 8.cykl (25-8,5)	4,0985	285,8089
10.cykl (19)	2,622	425,6494
9. a 11.cykl (19-20)	2,093	384,0367

Tab. 11 spotřeba paliva.



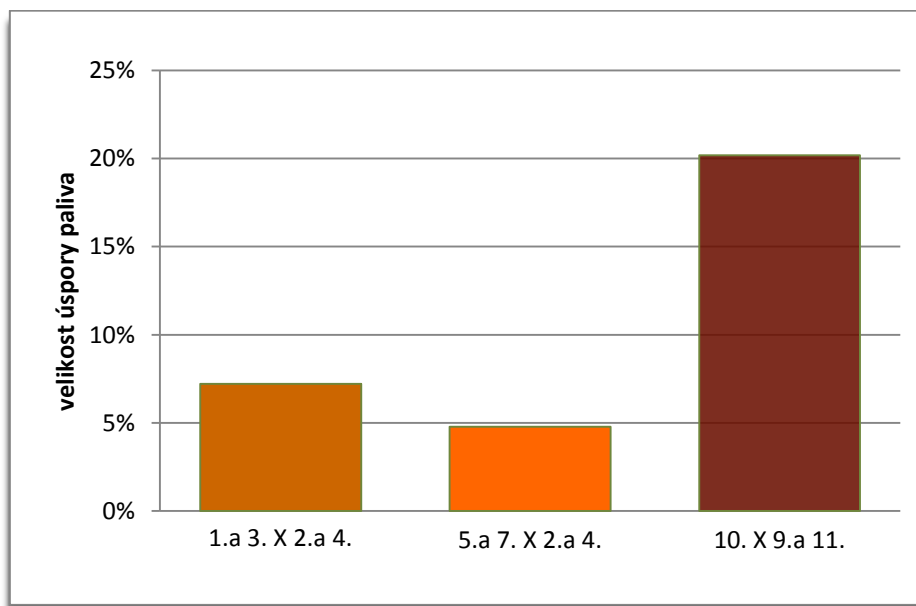
Graf 25 spotřeba paliva v závislosti na typu cyklu.

4.5.2. Procentuální změny:

Hodnoty v procentech vyjadřují změnu veličiny v závislosti jestli byl nebo nebyl přidáván vodík. Jako výchozí hodnota byla brána hodnota bez přidávání vodíku v [kg/hod]. Tedy pokud se po přidání vodíku veličina snížila je před hodnotou záporné znaménko.

	Spotřeba
1. a 3. X 2. a 4.	-7,205%
5. a 7. X 6. a 8.	-4,785%
10. X 9. a 11.	-20,175%

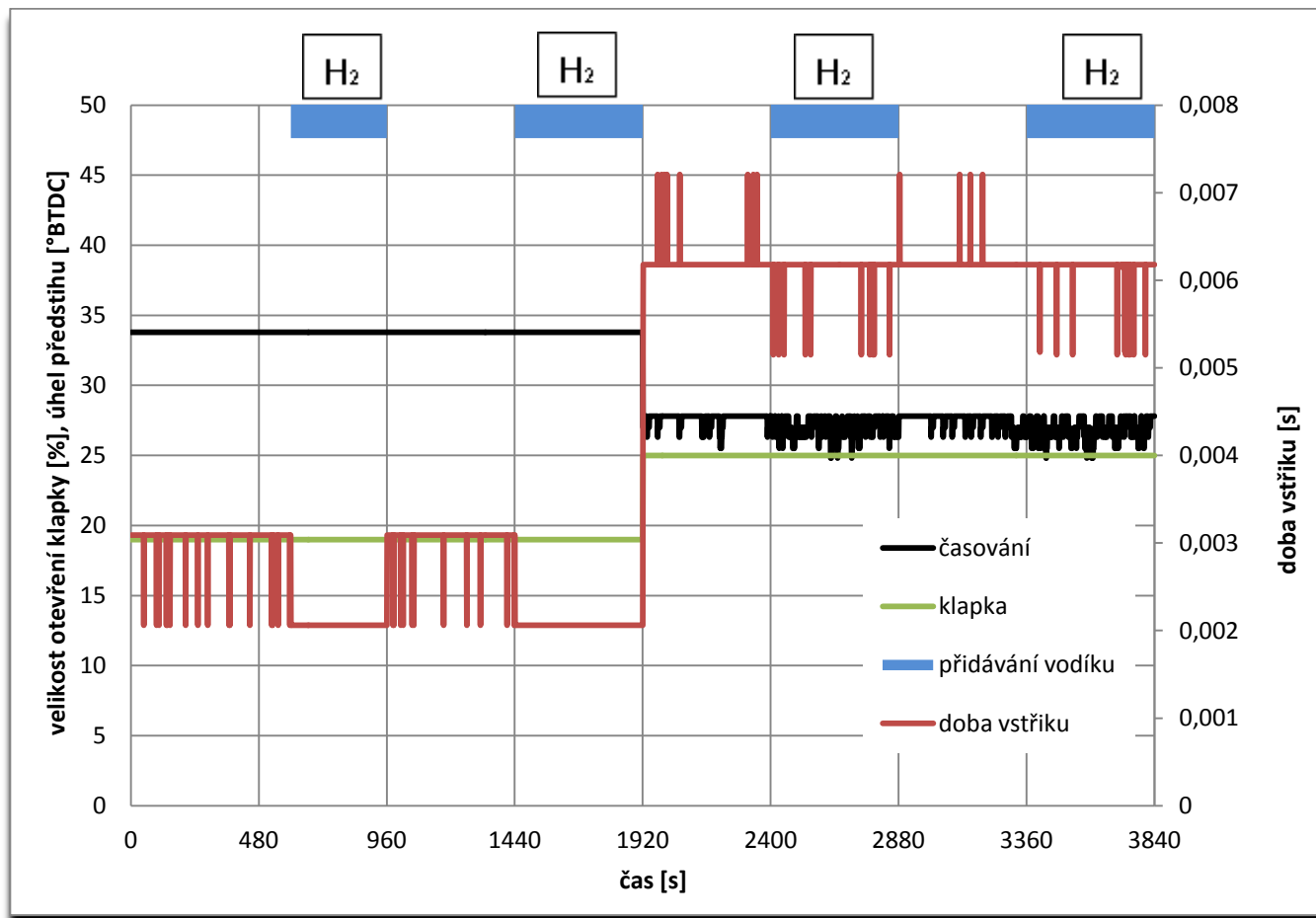
Tab. 12 změna spotřeby paliva.



Graf 26 úspora spotřeby paliva v procentech.

4.6. Hodnoty VAG z řídicí jednotky motoru:

Cykly byly dlouhé 480 s až na 2.cykl, který trval pouze 360 s. Byl zde přidáván čistý vodík v množství $8,5 [dm^3/min.]$. Klapka byla otevřena nejprve na 19 % a po čtyřech cyklech byla otevřena na 25 %.



Graf 27 závislost klapky, časování předstihu a době vstřiku na čase.

Zhodnocení:

Po číselném a grafickém vyhodnocení je jasné, že po přidání vodíku nenastaly změny, které jsme očekávali. Je to především způsobeno tím, že po přidání vodíku je ve spalované směsi méně vzduchu. Tím pádem je ve spalínách méně O_2 , řídicí jednotka díky hodnotám z lambda sondy zkrátí dobu vstřiku paliva o 1 [ms] (graf 27) aby docílila hodnoty $\lambda = 1$. Proto po obohacení směsi vodíkem klesl výkon motoru. Rovněž následkem přidání vodíku směs paliva shořela jiným průběhem a díky čidlu klepání řídicí jednotka změnila předstih o cca 1° díky čemuž se snížila účinnost motoru a výkon. Po přeprogramování řídicí jednotky by tyto problémy měli ustát a parametry motoru se znatelněji zlepšit, a to přesně

tak, jak jsme očekávali. Bylo by třeba upravit dávku paliva a především velikost otevření klapky sání. Tuto domněnku by bylo třeba ověřit dalším měřením. Měl by se zvýšit výkon a točivý moment, díky tomu by nebylo třeba tolik paliva pro potřebný režim a snížila by se i měrná spotřeba. Trendy vývoje změn v závislosti na přidávání množství vodíku se vyvíjeli vesměs kladně, až na oxidy dusíku NOX, u kterých se jejich množství zvýšilo až o 19,6% (tab. 10). Rovněž výkon a točivý moment se snížili až o 11,5% (tab. 9). Největší a pro nás jedna z nejdůležitějších změn nastala například u nespálených uhlovodíků HC, které se snížili až o 20,3% (tab. 10). Hmotnostní spotřeba klesla až o 20,1% (tab. 12). Pokud hodnoty emisí výfukových plynů přepočítáme na g/kwh zjistíme, že tyto hodnoty zůstaly takřka nezměněny. Je to dáno tím, že se nám snížil výkon motoru. Stejně je to také u spotřeby paliva, jež se převedla též na měrnou spotřebu g/kwh a velikost změny se tak snížila. Důležité je rovněž podotknout, že množství přidávaného vodíku ($20\text{ dm}^3/\text{min.}$) je mezní. Při zvýšení množství by se již překročila dolní mez vznětlivosti vodíku se vzduchem, která je cca 4% tedy 1:25 (vodík:vzduchu). Není tedy možné hledat cestu ve zvyšování přidávané dávky vodíku, ale hledat jí v úpravě řídicí jednotky a úpravě signálu z měřících čidel motoru. Množství $20\text{ dm}^3/\text{min.}$ je už i tak dost velké. Auta provozovaná s Brownovým plynem mají vyvíječe, které produkují kolem $2\text{ dm}^3/\text{min.}$ HHO. Vodík by tedy musel být vstřikován přímo do spalovací komory motoru tak aby nemohlo dojít k reakci se vzduchem mimo spalovací komoru. To je, ale už dost velký zásah do konstrukce hlavy motoru. Z vyhodnocení měření též vyplynulo, že přidávání vodíku nemá žádné špatné následky na teplotu motorového oleje, chladicí kapaliny, ani na teplotu ve výfuku. U vozů dlouhodobě používajících palivovou směs obohacenou vodíkem by stálo za zvážení použití výfukového systému z oceli třídy 17, tedy nerez oceli. Protože vodní páry vznikající při spalování, mohou nenávratně poškodit konvenční výfukové systémy. Pokud-by jsme chtěli přidávat vodík do spalovacích motorů provozovaných na pozemních komunikacích, museli bychom řešit problém s jeho přepravou, skladováním a tankováním. V Evropě je nyní pouze cca 22 čerpacích stanic na čistý vodík. Proto je snazší vyrábět si HHO rovnou ve voze z vody a elektrického proudu generovaného z alternátoru. Z jednoho litru vody a pár gramů hydroxidu draselného je možné vyrobit až 1860 l HHO, což postačí cca na 5000 kilometrů. Obohacování palivové směsi vodíkem, nebo Brownovým plynem má jistě velký potenciál, který ovšem není v současnosti dostatečně využit.

5. Závěr:

V rešeršní části jsem uvedl mnoho poznatků z oblasti obohacování palivové směsi vodíkem. Jsou zde velmi stručně popsány základní vlastnosti vodíku jako prvku. Zmiňuji se zde o sportovním voze Scorpion s dvoupalivovým spalováním a systému H2GO™. Uvádím zde informace o obohacování zemního plynu vodíkem. Je tu také popsán a zhodnocen stav vývoje a provozování systémů na obohacování palivové směsi Brownovým plynem. Pro názornost je uveden příklad jedné konverzní sady prodávané volně na trhu. Jako nejnovější trendy vývoje v této oblasti jsou popsány funkce ovladače klapky sání, jednotky EFIE a frekvenčního měniče. V přípravě měření je vypracované schéma měřicího stanoviště, včetně příslušné legendy. Dále jsem se věnoval nejpodstatnější části a to vyhodnocení měření, jež probýhalo v laboratořích KVM na TUL. Měřilo se na stanovišti číslo 7 s instalovaným zážehovým motorem Škoda Auto 1,2 HTP. Při konstantních otáčkách $3000 [min.^{-1}]$ klapce sání otevřené na (19 a 25%) a množstvím přidávaného vodíku (8,5 a $20 [dm^3/min]$). Naměřená data jsem zpracovával v Microsoft Excel 2009. Vývojové trendy změn v závislosti na množství přidávaného vodíku jsou znázorněny u veličin: výkon, točivý moment, teplota ve výfuku, lambda, teplota motorového oleje, teplota chladicí kapaliny a podtlaku sání. Posléze jsou trendy znázorněny u emisí výfukových plynů: oxid uhelnatý CO, oxid uhličitý CO₂, nespálené uhlovodíky HC, oxid dusíku NOX a zbytkový kyslík O₂. Z naměřených hodnot jsou vypočítány průměrné hodnoty pro každý cyklus a ty byly následně porovnány. Průměrné hodnoty se poté zpracovaly do tvaru velikosti procentuální změny vztažené k cyklu bez přidávání vodíku. Ve dvou samostatných kapitolách byla vyhodnocena změna spotřeby paliva v [kg/hod. a g/kwh] a změna hodnot VAG řídicí jednotky: doba vstříku, předstih, velikost otevření klapky a poměru lambda.

K práci je přiložena technická dokumentace přívodu vodíku do sacího traktu. V závěrečné diskuzi jsem se snažil nastínit problém, a vysvětlit, proč měření nepřineslo takové výsledky, které jsme očekávali. Navrhované řešení těchto potíží spočívá v úpravě řídicí jednotky motoru. V technologii obohacování palivové směsi vodíkem je v této chvíli třeba dalšího technického vývoje aby byla připravena na zakomponování do vozidel každodenně používaných na pozemních komunikacích.

Seznam použité literatury:

- [1] Green way HHO: Internetové stránky české firmy vyrábějící vyvíječe Brownova plynu.
<http://www.jednavodu.cz>
- [2] Alternative MPG: Internetové stránky Americké firmy vyrábějící vyvíječe Brownova plynu.
<http://www.alternativempg.com/>
- [3] Hydrogen motors: Zahraniční stránky o vozidlech a motorech na alternativní pohon.
<http://www.hydrogen-motors.com/bmw-hydrogen-7.html>
- [4] Autoweb: Internetové stránky o novinkách v automobilovém průmyslu.
<http://www.autoweb.cz/bmw-hydrogen-7/#>
- [5] Prvky: Internetové stránky o nejdůležitějších chemických prvcích.
<http://www.prvky.com/1.html>
- [6] Ronn Motors Company: Internetové stránky Americké firmy Ronn Motors Company
<http://www.ronnmotors.com>
- [7] Publikace: Fanhua Ma et al. Experimental study on thermal efficiency and emission characteristics of a lean burn hydrogen enriched natural gas engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2007, Volume 32, 5067-5075.
- [8] Semestrální projekt: Emisní charakteristiky směsí vodíku se zemním plynem.
Vypracovaný na Vysoké škole Chemicko Technologické
v Praze Petrem Jíšou. Vedoucí práce: Ing. Daniel Tenkrát, Ph.D.
http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska_cinnost/obhajoba_semestrálního_projektu_2009/42_emisni_charakteristiky_smesi_vodiku_se_zemnim_plynem_soubor.pdf